

TESIS

EL MEJORAMIENTO

DE LA

DESEMBOCADURA DE LOS RÍOS

---

TESIS

Presentada al Jurado Calificador en el examen profesional de Ingeniero  
de Caminos, Puertos y Canales,

POR

PEDRO A. GONZÁLEZ,

Ex-alumno de la Escuela Nacional  
de Ingenieros.

---

MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Calle de San Andrés núm. 15. (Avenida Oriente, 51.)

—  
1894



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Recuerdo de un discípulo á su  
eminente profesor el Sr. Juge-  
niro Don Antonio Arza.

Pedro A. González

AL SEÑOR GENERAL

PEDRO A. GONZÁLEZ,

Testimonio de acendrado afecto.



---

---

SEÑORES SINODALES:

**E**N este modesto estudio, que como tesis presento á vuestro sabio y concienzudo criterio, trato de una manera general uno de los problemas más interesantes de la ciencia del Ingeniero. Pocas ó ningunas ideas originales se encuentran en estas páginas, pues la materia, ardua por sí, lo es mucho más para quien, como yo, carece de los sólidos conocimientos que da larga práctica en la honrosa profesión á cuyo estudio he dedicado mis escasas fuerzas, y cuyo título tanto anhelo alcanzar.

Confiado, pues, en vuestra benevolencia, tan natural en quienes saben apreciar las dificultades de la cuestión, y cumpliendo con un precepto de la ley, he escrito la presente tesis. Si obtiene vuestra competente aprobación, quedarán satisfechos mis deseos y daré por bien empleados mis afanes.

PEDRO A. GONZÁLEZ.



---

---

**EL MEJORAMIENTO**  
DE LA  
**DESEMBOCADURA DE LOS RIOS.**

---

El calor solar, elevando la temperatura de las aguas del mar y de las capas inferiores de la atmósfera, pone á éstas en movimiento y las carga de humedad.

Así se elevan las aguas evaporadas para ser arrastradas en el torrente aéreo peculiar á cada región del globo, llevando almacenada enorme cantidad de energía latente ó de posición, que producirá un trabajo considerable cuando llegando el aire húmedo encima de los continentes, y encontrando obstáculos que como las montañas ó corrientes frías de distinta dirección, moderen su velocidad, abatan su temperatura y produzcan la precipitación, en forma de lluvias y obedeciendo ya á la pesantez caigan sobre la superficie de los continentes. Allí se modifica su marcha según la naturaleza del suelo que las recibe; pues mientras una parte es absorbida por los vegetales ó vuelve á evaporarse, la mayor porción continúa su descenso hacia el mar, aunque subdividiéndose á su vez en dos partes: una que sigue un camino subterráneo infiltrándose más ó menos por los conductos capilares del terreno, hasta que después de una marcha lenta emerge, formando los manantiales que reunidos en el talweg del valle constituyen los ríos.



La otra parte de las aguas se desliza por la superficie con más ó menos rapidez, según la inclinación de las vertientes y talwegs secundarios, hasta llegar al talweg principal donde se une al río, cuyo volumen viene á engrosar pasajeramente constituyendo la *creciente*.

Variables según la mayor ó menor permeabilidad del suelo, las aguas de infiltración y las aguas superficiales restituyen en trabajo mecánico la energía almacenada cuando el calor del sol las evaporara en la superficie de los mares; pues es á costa de tal trabajo que descienden desde lo alto de las montañas para volver al mar, su origen común, cumpliendo así su circulación entera. Este trabajo de las aguas en su descenso progresivo, consiste en la extracción y transporte de los materiales de los continentes al fondo de los mares.

De una manera general puede decirse que este trabajo es de doble naturaleza: de excavación en los continentes y de relleno en los mares. De tal manera, valiéndose de las aguas, el sol tiende á nivelar la superficie de la tierra.

Según las teorías geológicas generalmente admitidas, las formidables conmociones que se sucedieron en el planeta para que éste llegara al estado de relativa calma que caracteriza las últimas épocas, habían creado grandes pliegues é irregularidades en la costra sólida, dejando enormes concavidades que llenaban los manantiales y que las lluvias hacían desbordar hacia otros depósitos situados á un nivel inferior en donde se repetía igual fenómeno, hasta llegar á los mares que formaban el receptáculo común y de mayor profundidad.

Esos lagos escalonados se vaciaban por una serie de caídas y rápidas, cuyas aguas, animadas de gran fuerza viva debida á su volumen y á las pendientes bruscas, degradaban lentamente, ayudadas por la acción química sobre ciertas rocas, los vertederos formados por los bordes; arrastrando así al receptáculo inferior los aluviones, que paulatinamente fueron colmando las hondonadas y los lagos más pequeños, formándose lechos sedimentarios, al mismo tiempo que regularizándose las pen-



dientes, el escurrimiento se normalizaba. Llegóse así al estado actual de los valles; pero, sin embargo, aún se pueden observar en algunas regiones montañosas de formación reciente, ejemplos de regímenes tan irregulares y que dan, en pequeña escala, idea de las pasadas cuencas hidrográficas.

Mas no por haberse moderado las pendientes, el trabajo de las aguas ha cesado un punto; aunq̄ue con menor intensidad reproducense continuamente los mismos fenómenos de conjunto: ya en determinadas regiones montañosas, como los Alpes, la caída de una lluvia tempestuosa ó un considerable deshielo, hace precipitarse á las aguas en masa por las escarpadas pendientes, que socavan y vienen á reunirse en el fondo del *vaso de recepción*, formando con los materiales arrancados á las vertientes una masa pastosa, que siguiendo el talweg ó *canal de escurrimiento*, con la gran velocidad debida á pendientes de más de 0<sup>m</sup>06 por metro, llega hasta el valle, donde al encontrar mayor espacio y menores pendientes se esparce, depositando los materiales en suspensión, que se disponen en forma de *cono de deyección*. Estas violentas avenidas, al repetirse aportan al cono de deyección materiales nuevos para su extensión y avance en el valle, hasta que encontrando al río que corre por el talweg principal es atacado por su corriente y detenido su avance, sin embargo de que á veces un aporte considerable del torrente sea capaz de rechazar y aun obstruir momentáneamente la corriente fluvial, que al fin, venciendo, desagrega y transporta los materiales del cono de deyección del torrente. Los torrentes dan en una corta extensión un ejemplo del trabajo mecánico de los ríos, pues socavan en la montaña para depositar en el valle, á semejanza de aquellos que socavan en los continentes para depositar en los mares.

Mas no sólo de los torrentes toman los ríos los materiales que transportan; causas más generales intervienen para la destrucción de las montañas, cuales son las mismas aguas pluviales, que unas veces lentamente al infiltrarse y disolver ciertos materiales, bruscamente en otras circunstancias con la ayuda



de variaciones de temperatura y cambios de estado físico, van arrancando á pedazos la masa de las montañas.

Los bloks caen, fraccionándose más, hasta el fondo del talweg; allí, ya sometidos á la acción de la corriente, son arrastrados, gastándose y redondeándose con los continuos choques y rozamientos, disminuyendo de volumen, y á veces detenidos por algún accidente del lecho, permanecen resistiendo á la corriente que al fin los arrastra, al adquirir mayor velocidad y volumen en una creciente, para llevarlos, siempre á expensas de su volumen, hasta donde tornen á ser detenidos por nuevo obstáculo. Cada vez son más fácilmente rodados, puesto que su volumen va decreciendo y su superficie va siendo menos angulosa; así se transforman en guijarros ó cantos rodados, en grava, en arena y en cieno, siendo entonces más fácil su transporte para las aguas, pues ya éste no es sólo rodando por el fondo, sino que bajo la influencia del líquido en movimiento y habiendo disminuído considerablemente el peso de las partículas, son levantadas y arrastradas con la velocidad de los hilos líquidos, en virtud de la adherencia proporcional á su superficie y debida á la viscosidad y velocidad misma de la masa que las envuelve. Prodúcese así el segundo modo de acarreo de los aluviones, esto es, el transporte por suspensión.

Mientras en su parte superior los ríos están contenidos en un cauce de naturaleza resistente, siendo por lo general considerables las pendientes, la corriente adquiere á veces la velocidad necesaria para deslavar el fondo y las orillas, aunque en esta parte de los valles la corriente emplea como agente principal de corrosión, á los voluminosos fragmentos de roca que arrastra rodando sobre el fondo, y se comprende que su acción, aunque poderosa, es más lenta, sobre todo hacia las orillas; resultando que en estas regiones el cauce de los ríos es relativamente fijo y encajonado, comparado con el de las partes inferiores de los valles. Allí, en efecto, como consecuencia de la formación sedimentaria del cauce, éste es poco resistente y por lo mismo más fácilmente atacado por las corrientes, cada vez que au-



menta su fuerza viva en una creciente; así aumenta, á medida que desciende, el volumen de materias transportadas por las aguas.

Este transporte es intermitente, pues á las socavaciones suceden los atierres ó depósitos que se producen á poco, como consecuencia, ya de la pérdida de velocidad producida por el mismo trabajo de socavación, ya de la disminución del volumen de las aguas pasadas las crecientes, ya, en fin, de los accidentes mismos del valle, que se ensancha y permite á las aguas esparcirse, ó bien presenta declives más pequeños; ello es, que los depósitos son correlativos de los deslaves, y ambos caracterizan el fenómeno general del transporte de los aluviones, así como también determinan la forma de los ríos en perfil y en plano.

Pasada una creciente en la que las socavaciones y causas de transporte son considerables, los depósitos predominan y forman de distancia en distancia, donde los accidentes del lecho lo permiten, bancos ó altos fondos, que obstruyendo parcialmente el paso de las aguas, producen una sobre elevación, como consecuencia de la cual la velocidad aumenta, formándose una rápida ó raudal que socava el lecho hacia abajo del banco y transporta los materiales hasta cierta distancia, en que perdida la velocidad en virtud del trabajo producido, vuelven á caer al fondo los aluviones, constituyéndose un nuevo banco. Este se eleva con nuevos atierres hasta que haya determinado á su vez una elevación del nivel de las aguas que atenúe la velocidad en la rápida anterior, y con ella el ataque del fondo, causa de su formación. Mas no se detiene allí el trabajo de las aguas: continúan pasando por encima del nuevo banco, adquiriendo en su descenso velocidades capaces de producir nuevas socavaciones inmediatamente abajo de él, con cuyos materiales formarán más adelante otro banco; repitiéndose así sucesivamente los mismos fenómenos de renovación y transporte del fondo. Una nueva creciente vendrá á barrer estos bancos, transportando sus materiales á una gran distancia, variable con la



violencia y volumen de la avenida, á cuyo decrecimiento las mismas fases del fenómeno tornarán á producirse.

Pero también las orillas de los ríos están sometidas al trabajo de las aguas: en efecto, mientras éstas corren en una parte rectilínea del cauce, el plano vertical que contiene el eje de la corriente, en donde la velocidad es máxima, está situado hacia el medio de la sección transversal, que en tal caso es simétrica con relación á dicho plano. Mas si el río entra en una parte curvilínea del valle ó bien es desviado por un obstáculo cualquiera, el eje de la corriente tendiendo naturalmente á continuar en la dirección rectilínea que traía, es decir, según la tangente á la curva encontrada, se acercará á la orilla y la corroerá, siendo arrojada ó reflejada hacia la margen opuesta; pero en el trayecto, habiendo agotado en la socavación de la orilla parte de su energía de transporte, depositará la cantidad de aluviones incompatible con su velocidad amortiguada, creando así un banco. Este determinará después una sobre elevación y por consiguiente un aumento de velocidad en las aguas reflejadas, que al chocar en la margen opuesta la socavarán, para ser nuevamente reflejadas y reproducir la misma serie de efectos, que al repetirse irán acentuando cada vez más las concavidades donde naturalmente la profundidad es mayor. Como por el hecho de acercarse á una orilla el eje de la corriente, la velocidad de las aguas en la otra margen disminuye, enfrente de las socavaciones que hacen cóncava la primera, se producirán depósitos que crearán una playa de suave pendiente é irán haciendo cada vez más convexa la segunda. El perfil transversal en las curvas es, pues, asimétrico, teniendo la mayor profundidad hacia la orilla cóncava, cuya pendiente es más fuerte.

Estos efectos, que determinan el serpenteo de los ríos, tienden á desarrollar su longitud y por consiguiente á disminuir las pendientes. Las transformaciones no son sin embargo indefinidas, pues basta muchas veces que las aguas salgan de su lecho ordinario por efecto de las fuertes crecientes, para que



obedeciendo nuevamente al mayor declive, corten por la cuerda de una curva, abriéndose un canal lateral; que profundizado por las mismas aguas, hagan abandonar al río su antiguo cauce, que separado de la corriente principal acaba por azolverse si otras aguas no lo alimentan.

Con la rectificación del lecho nuevas erosiones se producen, contribuyendo tan variadas acciones á aumentar los acarreos, que ya intermitentes, ya continuos, constituyen el fenómeno general.

Estos efectos de conjunto se manifiestan como elementos de fenómenos de un orden más elevado cuales son los que constituyen las transformaciones del Globo; obsérvanse desde el torrente hasta el río principal: cada afluente aporta su cono de deyección que es atacado por el río á cada aumento de su fuerza viva, para transportar sus materiales en unión de los que él mismo trae, de trecho en trecho, hasta llegar á la desembocadura en el mar, donde tiene lugar el último depósito, cono de deyección del río principal cuyo vaso de recepción es toda la cuenca hidrográfica.

Los aluviones fluviales al depositarse en la boca de los ríos van á estar sometidos á la influencia poderosa de fuerzas cuyas intensidades y modo de acción son bien diferentes á las corrientes de agua dulce, que impelidas por la gravedad las arrastraron desde lo alto de las montañas hasta el litoral de los mares. En efecto, los vientos, las corrientes, las olas y las mareas, al combinar sus múltiples efectos, modifican notablemente el régimen de los ríos en su parte marítima.

---



### **Formación de los Deltas y de las Barras.**

Las olas levantadas por los vientos de la mar, combinando su acción á las corrientes litorales y á las mareas, atacan incessantemente las costas, socavándolas y transportando los materiales arrancados.

Este trabajo de las olas se manifiesta de dos maneras: por efectos de corrosión allí donde su velocidad se encuentra súbitamente amortiguada por causa del choque violento contra una playa saliente, escarpada y resistente; mientras que por el contrario, cuando al ir ascendiendo la suave pendiente de una playa baja, su velocidad va siendo amortiguada lentamente, las olas depositan los aluviones que traen en suspensión. Se puede decir que la fuerza viva de las olas en los litorales, se emplea en regularizar y nivelar su periferia socavando las partes salientes ó cabos y rellenando y haciendo avanzar las sondas y ensenadas intermedias.

Este último efecto empieza á manifestarse por la formación de un reborde constituído con los aluviones traídos por la corriente litoral que empujan los vientos dominantes, reborde que emerge subtendiendo el arco que dibuja la ensenada y que constituye el *cordón litoral*.

Entre el cordón litoral y la tierra firme queda encerrada una laguna de escasos fondos, á donde no llega la agitación exterior, y que se desecaría lentamente por evaporación si no fuese alimentada por aguas que vengan de tierra adentro.

Pero cuando un río viene á desembocar en una costa en la que se produzcan los referidos efectos, su boca tenderá á ser



cerrada por un cordón litoral de origen marítimo, que aumentando progresivamente al avanzar en el sentido de la marcha de los aluviones que lo forman, irá haciendo desviar en el mismo sentido la desembocadura del río, la cual acabará por obstruirse completamente si poderosas mareas no vienen á harrer tanto los sedimentos marítimos como los fluviales.

Hay pues que considerar en el fenómeno la influencia de las corrientes de flujo y de reflujo, cuando éstas se manifiestan de una manera sensible.

En el caso de mareas pequeñas, el cordón litoral acabará por formar una laguna cerrada en cuyas aguas tranquilas vendrá á perderse la velocidad de la corriente fluvial, dejando depositar los aluviones que traía, los cuales colmarán la laguna apoyando sus atierres sobre el cordón litoral.

Pero á consecuencia de tal hecho, la corriente del río en una creciente, no encontrando ya la extensa masa líquida donde repartiera y agotara su velocidad, ataca el fondo de aluviones abriéndose nuevo lecho y nueva boca á través del cordón litoral, hasta que perdiendo su velocidad en la masa de las aguas exteriores, deposite hacia adelante las materias que arrastra. Estos atierres forman una punta que un nuevo cordón litoral ligará al anterior, para dar lugar á la repetición de los mismos efectos. Por tal sucesion de sedimentos marinos y fluviales, van avanzando las costas y formándose los *Deltas*.

En el delta, que viene á ser el cono de deyección del río, éste, á semejanza del canal divagante de un torrente, varía constantemente de dirección, esparciéndose sobre el terreno bajo y poco resistente de dicho delta, y abriéndose, ayudado por las marejadas en los temporales, varios canales ó brazos que después de divagar á su vez, vienen á fijarse, una vez que han adquirido mayor profundidad por cualquiera circunstancia local ó fortuita.

Al salir al mar la corriente de un río, los aluviones que trae en suspension se depositan primeramente hacia las orillas de la desembocadura, en donde por ser menor la velocidad, se



nulifica antes que la de los hilos del eje de la corriente, que conservan aún cierta potencia de transporte hasta más adelante, donde perdida su velocidad verifican á su vez el depósito. Resulta de esto, una repartición de los aluviones en la sección de salida, en razón inversa de las velocidades de los hilos de la corriente, la cual va formándose así nuevas márgenes, que sumergidas al principio, emergen después con la reunión de los aluviones marinos y nuevos atierres fluviales; prólongase así en el mar el lecho y la corriente del río. De tal manera repartidos, forman los aluviones depositados un reborde que partiendo de las márgenes emergentes avanza sumergiéndose hasta el punto en donde se agota la velocidad máxima del río; este reborde submarino constituye la *Barra*, cuyo canal ó *paso* corresponde al eje de la corriente, y es el lugar donde se encuentra alguna profundidad.

En la desembocadura de cada uno de los brazos en que se divide un río hacia el delta, se forma una barra, pero entre ellas hay generalmente una cuyo canal presenta mayor profundidad.

Por la naturaleza misma de su formación, las barras se desalojan continuamente, tanto porque avanzan mar afuera con la corriente fluvial á medida que ésta se prolonga al ir adelantando sus márgenes con nuevos atierres, como porque la corriente litoral de aluviones, aportando también su contingente y avanzando en la dirección que determinan los vientos dominantes, hace desviarse en el mismo sentido la desembocadura del río.

El movimiento de la barra será, pues, resultante de ambas causas de desalojamiento, tendiendo naturalmente á predominar aquella que sea más poderosa; y muchas veces podrá haber un movimiento que en pocas horas haga variar la dirección del canal hacia un rumbo distinto del que parecía seguir dado el régimen de la costa, pues en el mar hay que contar también con poderosas fuerzas accidentales.

En resúmen puede decirse, que en los mares donde la ma-



rea es poco sensible, las barras, por razón de su naturaleza, se transportan siempre mar afuera, pues que constituyen la parte avanzada del delta que se desarrolla; hasta que debido á circunstancias enteramente locales, como el encuentro de una corriente litoral, se establezca una compensación entre el aporte de materiales por la corriente fluvial y su transporte por la corriente marítima.

*Mares de fuerte marea.*—En los mares de fuerte marea puede decirse que en general esa compensación ó estado de equilibrio puede ser más pronto y fácilmente establecido, pues otras fuerzas más poderosas intervienen en el fenómeno para producir efectos generalmente opuestos á los atierres de la desembocadura.

En el caso actual, el fenómeno de las mareas es tan predominante que puede decirse que á él es debido el régimen de los ríos hacia su parte marítima; pues tanto la cantidad de agua del mar que la marea introduce, como las corrientes debidas á la propagación del flujo y del reflujo, son casi siempre mucho mayores que la corriente propia de las aguas dulces y que la masa de estas últimas que sale al mar. Esto es, el débito de las mareas es, excepto en las crecientes, incomparablemente mayor que el débito puramente fluvial, siendo éste de signo contrario, y por consiguiente, restándose al débito del flujo; mientras que, por el contrario, el débito fluvial se agrega al de la marea cuando ésta descienda con la corriente de reflujo.

De esto resulta que periódicamente la corriente cambia de dirección, produciendo efectos muy diversos sobre el lecho, según las diversas fases de la marea. La amplitud de éstas va disminuyendo desde la desembocadura hasta el punto donde deja de sentirse.

Esta distancia es variable según la configuración del lecho, pues se comprende que en un río cuyo cauce no presente grandes obstáculos á la corriente de flujo, ésta podrá extenderse más arriba de la desembocadura, que en los ríos cuyo lecho opone obstáculos que amortiguan la velocidad de propagación



de las mareas. Ahora bien, mientras éstas tengan mayor amplitud, mayor será el volumen de las aguas introducidas, y por consiguiente, al bajar la marea, su fuerza viva, siendo mayor, producirá más efecto al arrastrar los aluviones del fondo. De donde resulta, que en conjunto la sección de un río de mareas va decreciendo de la desembocadura hacia arriba.

La primera corriente de flujo ó *primer flujo* se produce en el momento en que la marea empieza á subir, inmediatamente despues de la baja mar en la desembocadura; esta primera corriente de flujo, subiendo el río, encuentra la corriente de reflujo de sentido contrario, pues la baja mar, dilatando en propagarse río arriba, cuando en la boca la marea está baja, se comprende que aún haya corriente de reflujo en la parte de arriba. Como en la corriente de reflujo la velocidad superficial es mayor que la del fondo, los primeros flujos llegarán á anular antes la velocidad de reflujo en el fondo, y aun á predominar con una velocidad resultante, río arriba, cuando aún se manifieste en la superficie la corriente de reflujo.

El mismo fenómeno se producirá en las partes curvas del río, en cuyas convexidades la velocidad del reflujo, siendo menor, permitirá que el primer flujo se manifieste cuando todavía en las partes cóncavas domina el reflujo. En las partes rectas del lecho, siendo también menor en las orillas la velocidad de la corriente de reflujo, será anulada antes por el primer flujo, que se hará sensible cuando todavía hacia el medio, en las capas superficiales, subsiste la primera corriente. Así pues, el primer flujo se manifiesta en el fondo, en las convexidades y en todas las porciones de una sección, en que la velocidad de las corrientes es menor, cuando todavía el reflujo desciende en la superficie.

De esto se infiere que en un estuario de marea, cuando la mayor intensidad de la corriente de reflujo se acerca á una de las márgenes de la desembocadura, el primer flujo entra por el lado opuesto. Estas dos corrientes abren así dos canales de acceso, de los cuales el más profundo es casi siempre el debido



á la salida del reflujo; entre ambas corrientes reina una tranquilidad relativa que permite el depósito de los materiales que las dos traen en suspensión, y que forman un banco ó una serie de bancos alargados en el sentido de las corrientes; bancos que con el tiempo emergen constituyendo islotes. Los islotes también se forman en las curvas de los ríos, puesto que el primer flujo, siguiendo las orillas convexas, se abre un canal, á la vez que el reflujo lo abre hacia la orilla cóncava, quedando entre ambos canales un banco que al fin emerge con los atierres que depositan las aguas mansas comprendidas entre las dos corrientes opuestas.

Al remontar el río el primer flujo, siguiendo por el fondo, encuentra en éste toda especie de resistencias debidas tanto á las irregularidades de los canales, en perfil y en plano, como á la misma corriente de reflujo; pero á medida que la marea sube, una serie de flujos sucesivos, penetrando en el estuario, vienen á aumentar el volumen de las aguas y con ello la velocidad de propagación, hasta que la alta mar se produzca en la desembocadura y se propague al interior con mayor velocidad.

El cambio de dirección de la corriente se produce en una sección cualquiera, poco después de la alta mar y de la baja mar; puesto que la velocidad de introducción es pequeña cuando la marea empieza á subir, aumentando hasta el nivel medio para decrecer, volviendo á ser muy pequeña hacia la alta marea, cuando ya ésta ha introducido al río toda el agua de que es capaz; una pequeña salida de las aguas hacia el mar bastará para anular la velocidad restante, y como la salida va aumentando con el reflujo, el cambio de corriente no tarda en producirse. Una vez establecido el reflujo, su velocidad aumenta hasta la marea media, para decrecer hasta ser muy pequeña hacia la baja mar; al empezar á subir la marea una serie de flujos bastará para anularla, y al poco tiempo de la baja mar se habrá establecido la corriente contraria. Así pues, la corriente de flujo dura mientras sube la marea, y la de reflujo tanto como su descenso; y como á medida que se remonta el río, la



duración del flujo disminuye y la del reflujo aumenta, resulta que se llegará á un punto en que la corriente, toda de reflujo, ya no cambia de sentido; este punto es el extremo de la parte marítima, donde sólo domina el régimen fluvial.

Establecida la corriente del flujo, arrastra río arriba los aluviones marítimos y fluviales que encuentra en su camino, depositando parte de ellos allí donde su velocidad disminuye por algún ensanchamiento del lecho, sobre todo en las partes convexas, donde siempre la velocidad es más débil. Estos atierres sólo serán barridos por el reflujo en las partes del lecho donde su velocidad sea suficiente; dejará, pues, en los ensanchamientos bruscos del lecho la mayor parte de los atierres hechos por el flujo, que repitiendo su acción en cada marea, determina el azolve y disminuye por consiguiente la capacidad del cauce para la recepción de la marea, debilitando con ello los efectos del reflujo; de tal suerte la sucesión de éstos fenómenos agrava cada vez más la situación del estuario.

En tales casos sólo las crecientes, ejerciendo su acción sobre todo el lecho, pueden barrer con los azolves, aunque trayendo también atierres de la parte superior de los valles, disminuyen á veces aún más, las profundidades.

Por el contrario la corriente del primer flujo, subiendo por el fondo y las orillas convexas, mientras el reflujo baja aún por las capas superiores, ataca el lecho bajo la presión de las aguas que la cargan. Los aluviones que levanta son elevados y arrastrados por la corriente superior de reflujo que los conduce al mar.

Así pues, el primer flujo ayuda la acción del reflujo para dragar y profundizar el lecho. La acción del reflujo sobre el lecho es en general preponderante, pues precisamente cerca de la baja mar, cuando mayor efecto pueden ejercer sobre el fondo, es ayudada su acción por la corriente del primer flujo.

No pasa lo mismo con la corriente de flujo que adquiere mayor potencia que el reflujo hacia la marea media, cuando menos efecto es susceptible de ejercer en el lecho, en razón de la



profundidad de las aguas. La corriente propia del río tiende también á aumentar los efectos del reflujo, agregando á éste su masa y su velocidad, mientras que opone ambos factores á la corriente de flujo.

Sin embargo, la acción de transporte del reflujo no es muy duradera, pues á poco, estableciéndose el flujo, hace volver á remontar el río á una parte de los aluviones, que sometidos así á una sucesión de transportes alternativos, frotando y triturándose, llegan á un estado de tenuidad en que mezclados con otros residuos forman el lodo que se mantiene en suspensión, siendo entonces más fácilmente transportables. Quedan además otros aluviones que por su dureza resisten á tan completa división, y que bajando en graa cantidad de la parte superior de los ríos, forman bancos más difíciles de ser desalojados por las corrientes.

Por otra parte, el cordón litoral, tendiendo á formarse en la desembocadura, y las olas impelidas por los vientos de la mar rechazando hacia adentro los atierres que salen del estuario, contribuyen á la formación de una barra como en los ríos sin marea. Pero como esta barra es atacada continuamente por la acción de las corrientes de reflujo y también por las corrientes de agua dulce predominantes en las crecientes, se concibe que si las condiciones del estuario son favorables para hacer imperar estos efectos, las profundidades en la entrada aumentarán hasta que las fuerzas en presencia, llegando á equilibrarse, el canal adquiera fondo y dirección constantes.

Como en una desembocadura sometida á las mareas las diversas acciones referidas obran constantemente, el equilibrio entre sus efectos podrá llegar á establecerse más pronto y fácilmente que en la desembocadura de un río sin marea, donde en general sólo las causas de la formación y desalojamiento de las barras son continuas y preponderantes.

Así, generalmente los ríos de marea presentan una sola desembocadura ó estuario, ancho y profundo, mientras que los ríos sin marea salen á la mar por varias bocas poco profundas abiertas en un delta avanzado.



de base á la resolución del problema en los diversos casos que se presentan en la práctica, y que voy á exponer sucintamente.

*Ríos que desembocan en mares sin mareas.*—Los ríos tributarios de los mares sin marea ó de marea poco sensible, presentan su desembocadura obstruída por una barra, que tiende, como se ha dicho, á desalojarse avanzando hacia el mar, al mismo tiempo que su canal ó paso cambia de dirección y profundidad.

Esta inestabilidad (debida tanto á las acciones exteriores, como olas, aluviones litorales en movimiento, etc., cuanto al continuo depósito de los aluviones fluviales por la corriente amortiguada) persistirá hasta que la intervención de otra fuerza natural venga á producir efectos de naturaleza opuesta, capaces de equilibrar á las anteriores; y como esa fuerza, que deberá ejercer una acción continua, pues que continuamente obran las causas antagonistas, no puede ser otra sino una corriente marítima de potencia suficiente para arrastrar los materiales que constituyen la barra, se infiere que en este caso la solución directa del problema consistirá en hacer llegar la desembocadura hasta donde la corriente marítima, recibiendo los aluviones, los transporte é impida su acumulación.

Hay que prolongar, pues, la corriente fluvial hasta la corriente marítima; esta prolongación exige la formación de un cauce artificial, suficientemente fijo y resistente para oponerse á los desalojamientos que imprimen las fuerzas de la mar á la corriente del río, debilitada al salir comprendida entre las orillas sumergidas que se va formando con sus propios atierres, que más adelante constituyen la barra. Aumentando al mismo tiempo la fuerza viva de las aguas del río á su salida, se profundizará el fondo rompiéndose la barra. Así se conseguirá el doble objeto perseguido: fijar y profundizar la desembocadura.

Puede aumentarse la fuerza viva de la corriente, aumentando, ya sea el volumen de sus aguas, ya su velocidad; pero para aumentar el volumen de las aguas que salen por la boca donde se estudia el problema, habría que concentrar allí el total ó la



mayor parte del débito del río, obstruyendo otros brazos de su delta, lo cual concentraría también el total ó gran parte de los aluviones que salen por los diversos brazos; con esto aumentarían los atierres en la barra, y por consiguiente nada se ganaría.

Desechado este medio, queda el de aumentar la velocidad de la corriente ó mas bién, puesto que su aumento tendría inconvenientes para la navegación, conservarla ó prolongarla hasta la barra, la que será socavada por la corriente fluvial y transportados por ella sus materiales hasta la corriente litoral. La prolongación de la corriente del río determinará pues, tanto la estabilidad como la profundidad de la entrada de las desembocaduras en los mares sin marea.

Este doble resultado se obtiene por el encauzamiento de la corriente entre dos diques que arrancando de la costa se prolonguen hasta donde se manifiesta la corriente litoral.

Para determinar el nivel del coronamiento y la separación de ambos diques, hay que tener en cuenta, que si bien es cierto que se trata de concentrar en una cierta longitud todo el efecto de la corriente del río, y que este efecto es sobre todo considerable en la época de una creciente, sería sin embargo, un error el hacer los diques insumergibles y darles una separación calculada para encauzar dichas crecientes, pues hay que considerar que no siendo esas épocas sino pasajeras y anormales, el efecto de los diques disminuiría considerablemente en tiempo ordinario y sobre todo al bajar las aguas, cuando precisamente los depósitos fluviales predominando reformarían la barra; si haciendo los diques insumergibles, se les da una separación calculada para el débito de las bajas aguas ó de un nivel medio, llegada una creciente el estrechamiento producirá una sobre elevación hacia arriba que agravará los efectos de la creciente y aumentará en el canal la velocidad de la corriente.

Todos estos inconvenientes desaparecen construyendo los diques sumergibles por las crecientes y dándoles una separación



tal, que sea en las bajas aguas cuando produzcan su mayor efecto sobre la barra. La relación entre la anchura y la profundidad medias de la sección transversal medida inmediatamente arriba del arranque de los diques, correspondiente al débito en el estiage, determinará la separación de los diques. Estos son generalmente paralelos, aunque muchas veces, teniendo en cuenta que son sumergibles y no habiendo inconveniente en estrechar un poco la sección en sus extremidades, se les acerque en esta parte, á fin de que su efecto se acentúe hacia su desembocadura en el mar, es decir, hacia la barra.

En cuanto al trazo y la orientación de los diques, puede decirse que depende, tanto de la dirección de la corriente litoral á la que llevan los aluviones fluviales, como del rumbo de los vientos dominantes y reinantes, pues hay que satisfacer, como en toda entrada de un puerto, á las condiciones que exigen las maniobras de entrada y salida de las embarcaciones; también hay que tener en cuenta la dirección en que soplan los vientos de la mar, pues no sólo influyen bajo el punto de vista de las facilidades náuticas, sino que también tienen influencia sobre el efecto de los diques, pues si los vientos dominantes soplan en contra de la corriente que aquellos dirigen, esta corriente disminuirá notablemente de velocidad mientras soplen dichos vientos, y por consecuencia decrecerá también su poder de transporte, lo cual, unido á que las marejadas levantadas por los citados vientos pueden acarrear hacia la boca los aluviones del mar, expondría á ésta á ser de nuevo obstruída por la barra.

La dirección de los diques es generalmente rectilínea; sin embargo, algunas veces tienen que trazarse curvilíneos, sea porque ciertos puntos del trazo son forzosos, ó bien porque se quieran prolongar en una dirección diferente de la que tenían primero y que se reconoció defectuosa, sea porque las márgenes ofrecen sinuosidades que deberán seguir en parte los diques, ó finalmente por cualquiera circunstancia local. En tales casos debe tenerse presente la influencia que pueden ejercer



las curvaturas variables de los diques sobre la velocidad de las corrientes y los fondos del canal. Sea  $P$  la fuerza motriz que obra sobre una molécula líquida de masa  $m$  moviéndose en línea recta con la velocidad  $v$ ; se tiene  $P = m \frac{dv}{dt}$ . Cuando esta partícula llegue á una parte curva del canal,  $P$  se ejercerá según la tangente á la trayectoria, desarrollando una fuerza centrífuga  $\frac{m v^2}{\rho}$ , siendo  $\rho$  el radio de curvatura. Los hilos líquidos vecinos reaccionarán á su vez con una fuerza igual á  $\frac{m v^2}{\rho}$  que producirá una resistencia ó frotamiento tangencial igual á  $\varphi \times \frac{m v^2}{\rho}$ , cuyo frotamiento reducirá la fuerza motriz á  $P - \varphi \frac{m v^2}{\rho}$ ; esta disminución es insignificante, pues el factor  $\varphi$  que representa el coeficiente de frotamiento de los hilos líquidos, es muy pequeño tratándose del agua; pudiera sin embargo hacerse sensible la fuerza retardatriz, si  $\rho$  fuera pequeño. Pero dicha fuerza desaparece ante la presión que la fuerza centrífuga  $\frac{m v^2}{\rho}$  desarrolla hacia la orilla cóncava sobre los hilos líquidos vecinos: los hilos líquidos del lado convexo ejercen una presión debida á la fuerza centrífuga, sobre los hilos líquidos del lado cóncavo, en cuya orilla la presión total es  $\Sigma \frac{m v^2}{\rho}$  y produce una socavación. Como en los ríos sin marea la velocidad  $v$  y  $\Sigma m$  son en general constantes para un gasto determinado ó cuando menos no varían bruscamente, se infiere que si el radio de curvatura  $\rho$  varía de una manera continua, la fuerza de socavación  $\Sigma \frac{m v^2}{\rho}$  variará también de manera continua y no producirá cambios bruscos en las profundidades del canal. Esta fuerza será tanto menor cuanto mayor sea el radio de curvatura  $\rho$ .

Del anterior análisis se deduce que en el trazo de los diques deberán emplearse curvas de gran radio, de 800 á 1,000 me-



tros al menos en las desembocaduras frecuentadas por grandes vapores. Deberán evitarse igualmente los cambios bruscos de curvatura que resultan del enlace de alineamientos rectos con arcos de círculo, etc.; debiendo hacerse los enlaces por osculaciones en que la curvatura cambia de una manera continua. Este trazo, además de hacer más regular el plano del canal, hará más uniforme el efecto del encauzamiento y por consecuencia, más uniformes las profundidades tanto en el sentido transversal como en el longitudinal.

Por lo que respecta á la longitud de los diques, se comprende que habrá que llevarlos hasta donde la corriente litoral, cuya existencia supone la aplicación de este sistema, sea bastante fuerte para barrer los aluviones marítimos y fluviales que tienden á reconstituir la barra en el extremo del canal; pues si los diques se detuvieran antes, la barra se reproduciría allí, puesto que subsistirían las mismas causas que la formaron antes de emprender el encauzamiento, el cual no habría hecho más que hacerla avanzar.

Para que esta solución del problema del mejoramiento de las desembocaduras pueda realizarse prácticamente, es necesario, no sólo haber comprobado la existencia de la corriente marítima y su poder suficiente para disipar los atierres, sino también que su distancia á la costa ó al lugar donde está formada la barra, no sea tan considerable que exija para llegar á ella una prolongación excesiva de los diques, que traería consigo dificultades y condiciones de ejecución debidas á las profundidades que, al ir aumentando, irían exigiendo también mayor volumen y resistencia en los diques, cuyo excesivo costo podría hacer impracticable esta solución. Si la distancia y velocidad de la corriente litoral hacen posible esta solución, habrá que elegir entre los brazos que forman el detalle cuando ya está desarrollado, el que debe ser mejorado para la navegación.

Muchas veces la preferencia puede ser debida á consideraciones comerciales ó políticas, que no son del resorte especial



del ingeniero y que predominando determinan la cuestión; pero cuando bajo esos puntos de vista no hay imposición alguna, el problema es enteramente técnico y para resolverlo hay que considerar tres elementos: profundidad de la barra, facilidad de navegación en el brazo y seguridad ó facilidad de acceso. Deben tenerse en consideración primeramente los elementos que constituyen el régimen de las diversas desembocaduras y que influyen en la altura y variabilidad de sus barras respectivas, pues no será necesariamente el brazo que produzca mayor débito, con el que se obtendrán mejores efectos, sino antes al contrario, casi siempre el brazo de mayor volumen acarrea más aluviones, que son, por consiguiente, menos fácilmente dispersados por la corriente marítima. Frecuentemente la elección está naturalmente indicada en la boca que sigue la navegación en el estado natural de la desembocadura, y que es la más profunda, pues parece evidente que por el hecho mismo de superar su barra en profundidad á las otras, las causas de su formación, es decir, los atierres, son allí menores y los efectos de las obras serán, por consiguiente, más fácil y prontamente alcanzados.

Tambien debe considerarse la facilidad de navegación en el brazo, pues si ésta presentara dificultades á causa de que el brazo cuya barra se mejorara, ofrece su lecho obstruído por bancos que determinan curvas bruscas en el canal seguido por la navegación, etc., habría que emprender obras interiores destinadas á evitar esos obstáculos, lo cual aumentaría considerablemente el costo y magnitud de las obras del mejoramiento. A pesar de esto, puede decirse que esta segunda consideración debe subordinarse á la anterior, pues es la fijeza y profundización de la barra el principal objeto del problema.

Lo mismo puede decirse de la consideración de la mayor facilidad de acceso al río, pues casi siempre en el trazo y orientación de los diques que atacan la barra, se tienen en cuenta, como se vió anteriormente, las facilidades náuticas.



En resumen, al elegir el brazo que debe mejorarse, se tratará de proporcionar á la potencia de la corriente litoral la cantidad de atierres que recibe, procurando siempre facilitar su acción, á lo cual tiende precisamente el sistema adoptado.

Cuando se ha encauzado una de las bocas, se completa á veces la obra fijando el gasto de los otros brazos por medio de otros diques que determinen, por decirlo así, su toma de agua; sin lo cual se ha creído que el encauzamiento del brazo navegable tendría por consecuencia empobrecer su débito y por lo tanto disminuir las profundidades del canal. Pero como los diques al concentrar la corriente sobre la barra, la rompen, profundizan el canal y hacen aumentar así la sección de la corriente, no parece haber motivo para que el débito disminuya, sino antes al contrario, tal vez tenderá á aumentar algo con respecto al de los brazos no navegables cuya sección de salida se encuentra obstruída por una barra. Se pueden, pues, dejar enteramente libres estos últimos, con lo que se economiza un gasto en obras suplementarias, cuya utilidad, en general, no parece justificada á priori.

Mas no siempre se presentan en las desembocaduras de los ríos en un mar de mareas poco sensibles, circunstancias tan favorables que permitan, con la aplicación del sistema de diques, obtener resultados prontos y satisfactorios, considerados tanto bajo el punto de vista técnico, como bajo el punto de vista económico. En efecto, ya sea porque la corriente litoral á la que deberán llevar los diques los materiales generadores de las barras sea débil con relación á la cantidad aportada por los ríos y las olas, ya porque esa corriente marítima se encuentre demasiado lejos de la desembocadura ó ya, finalmente, por no manifestarse en el mar corriente alguna que disperse los aluviones, los resultados que deban esperarse de la prolongación del régimen fluvial son dudosos.

La aplicación del sistema en tales casos, sólo podrá justificarse cuando poderosos intereses reclamen el pronto cambio



de la situación ó estado natural de la barra, y que el resultado, aunque efímero, pueda compensar los sacrificios pecuniaros hechos para obtenerlo, y aún más, permitan mediante una lucha constante, mantener la situación creada; porque si bien es cierto que la barra atacada por la corriente que dirigen y concentran los diques, tenderá á reformarse adelante de éstos, avanzando así á medida que se les prolonga, también es un hecho que á medida que el encauzamiento avanza, las profundidades van siendo mayores y por consecuencia la barra tardará cada vez más en constituirse, resultando así que el mejoramiento irá siendo más duradero.

Pueden, llegado el caso, ó seguirse prolongando los diques, aunque hay que tener en cuenta que entonces son ya más costosos, tanto por su mayor volumen como por las dificultades de su construcción en profundidades considerables; ó bien puede recurrirse á la conservación de las profundidades por medio de dragados.

Este último medio podrá ser más conveniente si las circunstancias locales se prestan á un trabajo de las dragas, en condiciones tales, que su rendimiento sea considerable; pues dependiendo éste, ya de la naturaleza de los materiales por extraer, ya de la distancia de transporte, donde puedan hacer su descarga, ya sobre todo del mayor tiempo durante el cual puedan funcionar, lo que depende del grado de agitación del mar en las estaciones del año, se comprende que todos estos factores, enteramente locales, puedan hacer más económica la conservación por medio de dragados que la prolongación indefinida de los diques.

Los dragados exteriores al canal, en el extremo de los diques llegados á considerables profundidades, serán menos cuantiosos, pues en esos fondos la agitación relativamente débil, no produce un movimiento muy activo de los aluviones marinos que vayan á unirse á los fluviales, y cuando menos, las dragas funcionan más fácilmente y durante más tiempo, toda vez que la agitación del mar en buen tiempo "es menor en los fondos



de 8<sup>m</sup> á 10<sup>m</sup> que sobre la de 2<sup>m</sup> á 3<sup>m</sup> y basta que la ondulación pase de 0<sup>m</sup> 60 para que las máquinas de que actualmente se dispone, se vean obligadas á cesar de funcionar.” “Se podrá pues dragar más tiempo y más á menudo, y por consecuencia con más economía.” “Se podrá emplear un material flotante de formas marineras y de un calado que aumentará la estabilidad.” “En caso de mal tiempo las extremidades de los diques ofrecen á este material un abrigo donde pueden refugiarse prontamente, etc.” (Laroche. *Travaux Maritimes*.—Pág. 401).

Por el contrario, si se prolongan demasiado los diques hácia grandes profundidades, sus efectos sobre la barra van siendo menores, puesto que dependiendo principalmente de la velocidad de la corriente que encierran, esto es, de la velocidad de las capas inferiores, se comprende que esta velocidad vaya disminuyendo, siendo una misma la velocidad superficial, cuanto mayor va siendo la profundidad; si para aumentar la velocidad en el fondo se estrecha más el canal comprendido entre los diques, podría resultar una velocidad en la superficie perjudicial para las maniobras de las embarcaciones, sobre todo á la entrada.

La solución depende, pues, en estos casos, de multitud de circunstancias, exigiendo por consiguiente un estudio muy concienzudo, y las más veces en extremo difícil, del régimen y la naturaleza de los parajes de la desembocadura.

En resumen, el sistema de diques longitudinales en la desembocadura, podrá dar la solución más económica y satisfactoria cuando se le aplica á los ríos que desaguan en mares que tienen en esos parajes una corriente litoral sensible ó profundidades considerables; y también cuando se trata de ríos que, ya sea por el poco desarrollo de su cuenca hidrográfica ó á causa de la naturaleza resistente de los terrenos atravesados, acarrear pocos aluviones.

Pero cuando los ríos desembocan por costas bajas de suave pendiente, á mares desprovistos de corriente litoral sensible y que por la extensión considerable de su cuenca hidrográfica



y de los terrenos sedimentarios que en su mayor extensión la constituyen, posean gran potencia de atierre, hay que esperar que los diques sean ineficaces para destruir la barra, que no hará más que avanzar reproduciéndose indefinidamente. La verdadera solución consistirá entonces, en la creación de una salida artificial por medio de un canal lateral que partiendo del interior del río, donde la navegación es fácil, vaya á desembocar en el mar fuera del alcance de los atierres que constituyen el delta.

La elección entre ambas soluciones es muchas veces difícil, pues las condiciones que pueden hacer adoptar uno ú otro sistema, no se encuentran tan bien determinadas para poder resolver á priori un problema que como todos los de esta naturaleza, exige primeramente la sanción de la experiencia. Y como en caso de éxito, el sistema de diques es mucho más sencillo y económico, puede decirse que en tales ocasiones, no es sino después de haber visto de una manera real la insuficiencia del encauzamiento entre los diques cuando se decide la apertura del canal lateral.

Un canal teniendo por objeto sustituir á la vía natural otra exenta de los inconvenientes que resultan de las barras, deberá ante todo localizarse de tal manera que en su desembocadura en el mar no se forme una barra. Y como las causas productoras de éstas, son tanto los atierres del río como los aluviones del mar puestos en movimiento por las olas de la costa, habrá que preservar al canal de la invasión de ambos materiales.

Para impedir la entrada de los aluviones que acarrea la corriente fluvial, se cierra la entrada del canal, en la margen del río, por una esclusa cuyas dimensiones sean suficientes para el paso de las embarcaciones de mayor porte que frecuenten el río. Esta entrada del canal se dispone muchas veces en dirección contraria á la corriente, es decir, de abajo hácia arriba, de manera que también por esta disposición es difícil que penetren los atierres. La esclusa debe tener una caída igual á la



mayor diferencia de nivel entre el punto de partida del canal, en la margen del río, y el nivel del mar en su desembocadura; esta diferencia llega á un máximum en la época de las más altas aguas.

Para evitar la invasión de los atierres del río, se ha empleado también (canal marítimo del Ebro) la disposición que consiste en que el nivel del agua en el canal, sea superior al nivel de las más altas aguas del río, estando el fondo de dicho canal más elevado que el estiage; en tal caso el canal, en vez de ser alimentado por el mar, tendrá que serlo por aguas interiores ya del mismo río ó de otro cualquiera; pero de todos modos, será de dos vertientes y por consiguiente exigirá otras esclusas además de la de entrada, complicándose la solución con las cuestiones relativas á la alimentación, etc., todo lo cual hace la obra sumamente costosa, aun cuando las circunstancias locales sean favorables y las terracerías, para iguales dimensiones, de menor consideración que en un canal de una sola vertiente.

La desembocadura de un canal en el mar deberá estar en golfos ó ensenadas tranquilas y profundas en donde el movimiento de los aluviones litorales sea poco sensible, y bastante lejos del delta para que no puedan perjudicarla sus atierres. Se adoptan asimismo disposiciones que permiten barrer con golpes ó corrientes de agua (chasses) los aluviones que la mar pueda depositar delante de la desembocadura del canal. Con objeto de hacer ésta en aguas más profundas, cuando la costa es de suave pendiente, y de ponerla también en mejores condiciones tanto de abrigo como de orientación, se prolonga el canal en el mar por medio de diques ó jetées.

Como se ve, esta solución comprende muchas restricciones, necesitando para su completo éxito que las condiciones naturales del litoral favorezcan la apertura y conservación del canal, pues no siempre se encuentran á poca distancia ensenadas tranquilas y profundas ó puertos preexistentes, donde pueda hacerse la salida, que de lo contrario necesitará de una conservación costosa; y en el caso de que tenga que prolon-



garse el canal por medio de diques, ó bien que alargar su trazo, resultarán siempre cuantiosos gastos de construcción; pues además de la gran cantidad de tierras que hay que remover, dadas las dimensiones de estos canales marítimos, deben tenerse en cuenta, la construcción de esclusas, muros de defensa, etc., y los gastos de conservación, indispensables en esta clase de obras. Además el paso de las esclusas es un entorpecimiento para el tráfico en el canal, cuando el movimiento es muy grande.

Otra solución del problema de la fácil navegación en las desembocaduras, en el caso de mareas poco sensibles, ha sido indicada por el Ingeniero de Lagrené (*Cours de Navigation Intérieure.*—tomo 1.<sup>o</sup>—página 120); está fundada en las consideraciones siguientes: Puesto que no siempre acarrear los ríos la misma cantidad de aluviones, parece racional disponer de los diversos brazos que constituyen el delta, de manera que en las épocas en que las aguas estén poco cargadas de aluviones, los brazos no navegables sean cerrados, concentrando la corriente por el solo brazo navegable; mientras que por el contrario, cuando las aguas bajen turbias, su salida por el brazo navegable sería interceptada ó sólo permitida por derrame, mientras que las aguas cargadas de materias saldrían por los brazos no navegables.

Esta solución exige la construcción de presas móviles sobre el brazo ó los brazos no navegables, y de una presa móvil esclusada, esto es, con una esclusa construída lateralmente, sobre el brazo navegable, el que además sería encauzado entre diques, río abajo de la presa, hasta la barra. La corriente encerrada entre los diques profundizaría la barra y fijaría el canal, que se conservaría aunque no hubiera corriente litoral que dispersara los aluviones, debido á la intercepción por la presa, de las aguas turbias del río.

En los grandes ríos, estas presas móviles tendrían una gran altura y por lo mismo mucho costo, el que aumentaría con las dificultades de construcción y cimentación en grandes profun-



didades de agua y en terrenos formados por lo general, de capas de lodo de un espesor muchas veces indefinido, como son los que constituyen el lecho de la parte marítima de los ríos.

También habría dificultades para la maniobra de las presas de gran caída, teniendo que emplearse para ello poderosos aparatos. Sin embargo, con las presas móviles de gran caída, como las construídas recientemente en el Sena, entre Paris y Rouen, se facilitaría tal vez la realización de esta solución teórica. Habría por lo demás que conservar por medio de dragados el canal de la desembocadura del brazo navegable, pues aunque hasta él no llegaran los atierres del río, los aluviones marítimos tenderían siempre á formar la barra adelante de los diques, sin embargo de que ésta no crecería tanto por la falta de los primeros atierres, lo cual haría más fácil y menos costoso su dragado.

En resumen, parece que esta solución, que en algunos casos podría reemplazar ventajosamente á un canal lateral, sería á pesar de ello muy costosa. Mas no debe aventurarse una conclusión antes de conocer alguna experiencia de este ingenioso sistema.

En cuanto á los anteriores, cuyos rasgos generales acabo de condensar, han sido llevados á la práctica en muchas aplicaciones con más ó menos éxito; entre ellas elijo para una ligera descripción, las siguientes, que ya por su importancia y por caracterizar cada una de las soluciones del problema, deben completar lo expuesto hasta aquí.

#### OBRAS EN LA DESEMBOCADURA DEL DANUBIO.

El delta del Danubio está formado por tres brazos principales: el brazo de Kilia que se dirige al N.E. y lleva el mayor volumen de las aguas del río; el brazo de San Jorge lo limita dirigiéndose al S.E. y el brazo de Sulina desprendido del anterior en la dirección de O á E. y que es de menor importancia en cuanto al volumen de sus aguas, apenas  $\frac{1}{14}$  del débito total.



Cuando la comisión nombrada por las potencias europeas en 1856, trató del mejoramiento de la desembocadura del Danubio, hubo de elegir entre los tres brazos principales el que se prestara á la mayor facilidad y economía en las obras. Bajo el punto de vista de la profundidad de las barras, en esa época se tenía 1<sup>m</sup>80 (6 pies) en la barra de Otchakoff, la más profunda de las ocho desembocaduras en que se subdivide el brazo de Kilia. El brazo de San Jorge presentaba en la más profunda de las dos desembocaduras en que se subdivide, 2<sup>m</sup>10 (7 pies). En la única barra del brazo de Sulina, la profundidad alcanzaba 3<sup>m</sup>05 (10 pies).

Bajo el punto de vista de la fácil navegación de los brazos, el de Kilia presentaba mejores condiciones, pues conserva en toda su longitud una anchura y profundidad suficientes. Venia en segundo lugar el brazo de San Jorge que ofrece donde quiera más de 15 pies de profundidad, 470 metros de anchura y habría podido igualarse bajo este respecto, mediante pocos trabajos, al de Kilia. Mientras que el de Sulina, por su sección reducida y por su menor débito, estaba obstruído por muchos bancos y sus curvas eran bruscas, lo cual lo hacía muy inferior á los otros dos; era además la entrada de Sulina muy peligrosa, á pesar de su relativa profundidad, para la entrada y salida de las embarcaciones, á causa de estar expuesta directamente á los fuertes y súbitos vientos del N.E., tan peligrosos en el Mar Negro, no habiendo próxima á sus parajes una rada de abrigo. Sin embargo, como en razón de su mayor débito la boca de Kilia arrastra gran cantidad de aluviones que no hubieran podido ser transportados por la débil corriente litoral que se manifiesta en el Mar Negro, y como también está más distante del Bósforo, de donde viene la mayor parte del tráfico, estos dos inconvenientes hicieron que fuera desechada. La boca de San Jorge presentaba en cambio la ventaja de su mayor proximidad al Bósforo, pero sin embargo se prefirió la de Sulina, tal vez considerando que por su menor débito arrastra menor cantidad de aluviones, que serán más fácilmente disper-



sados por la corriente litoral. Los trabajos ejecutados en esta boca, dice el ingeniero Félix Martin, "ofrecen el primer ejemplo de una profundización obtenida en la desembocadura de un gran río, con la ayuda de diques longitudinales." [*Anales de Puentes y Calzadas*.—1872.—tomo II].

Habíase ensayado primeramente el dragado de la barra, pero se reconoció que no podía procurar un mejoramiento permanente; entonces se propuso un proyecto de canal de esclusas, desde el brazo de San Jorge al mar, pero su gran costo é inconvenientes de otro orden, hicieron que la comisión europea no llegara á ponerse de acuerdo para la aprobación del proyecto. Durante los debates, se empezaron provisionalmente los trabajos en la boca de Sulina, por el sistema de diques paralelos, que había sido propuesto desde el principio por Sir Charles Hartley, ingeniero en jefe de los trabajos, y cuyo ensayo dió tan buenos resultados que las obras provisionales se convirtieron en definitivas, haciendo abandonar el proyecto de canal.

Los trabajos provisionales, empezados en 1858 y terminados en 1861, constaban de dos diques ó jetées que partían de la playa (figura 1): el dique del N., de 1,414 metros de longitud, lleva en su extremidad una luz roja de 5º orden; el dique del S. tiene 914 metros de longitud, su dirección general es de E.  $\frac{1}{4}$  N.E., con una separación normal de 183 metros. Los diques no son enteramente paralelos, sino que más bien convergen hacia el mar, partiendo de los puntos más salientes de la playa. El perfil de estos diques se componía de tres pilotes separados 2<sup>m</sup>70 de eje á eje y unidos por fuertes atravesaños ó polines de encino; el pie de los pilotes estaba protegido por un macizo de enrocamientos naturales de  $\frac{1}{100}$  de metro cúbico á lo más y elevándose á tres metros sobre el fondo; sobre este macizo se completó el cuerpo de los diques con bloks naturales del mismo volumen, contenidos entre piezas de madera que mantenían los pilotes exteriores (fig. 2).

En vista de los buenos resultados que produjeron estos di-



ques, se emprendieron en 1866 los trabajos de consolidación. El perfil adoptado para las partes más expuestas de los diques definitivos, se formó de la manera siguiente (fig. 2): Sobre el macizo ó sub-basamento de pequeños enrocamientos naturales, se colocaron del lado del talud del mar, bloks artificiales de defensa, cuyas dimensiones son:  $3^m \times 1^m50 \times 1^m60 = 7.2$  metros cúbicos. El coronamiento de los diques se formó con bloks de las mismas dimensiones, construídos en el lugar de su empleo y ocupando el espacio comprendido entre las dos filas de pilotes del dique provisional. Sobre el talud interior se estableció una berma ó banquetta formada con bloks artificiales en hiladas, y cuyas dimensiones son de  $1^m80 \times 1^m60 \times 1^m40 = 3$  metros cúbicos.

Este perfil se adoptó sólo para la parte *BC* del dique Norte (fig. 1) en  $563^m35$  de longitud, y también en la parte *FE* del dique Sur en  $304^m10$ , esto es, en una longitud total de  $867^m45$ . Las porciones *AB* y *DE*, cuya total longitud es de  $1,064^m45$ , fueron consolidadas sólo con la construcción de los bloks de coronamiento. Los trabajos se completaron después (1870-71) con la prolongación del dique S., de manera que su extremidad estuviera á 46 metros atrás de la del dique N. Durante la construcción de los diques de la barra, desde 1857 hasta 1871, se ejecutaron en toda la longitud del brazo de Sulina, trabajos consistentes en dragados, rectificaciones y ensanchamientos del cauce, con el objeto de mejorar sus condiciones de navegación.

Cuando se empezaron los trabajos de la barra, en 1857, la profundidad de ésta era de 10 pies ingleses ( $3^m05$ ); ya en 1860 el dique N. alcanzaba una longitud de 915 metros y el dique S.  $152^m50$ , habiendo llegado la profundidad á 14 pies ( $4^m27$ ). "Como la elección del sistema de diques paralelos no era en definitiva sino una experiencia sin precedentes, se creyó que la construcción de un solo dique bastaría para mejorar el paso; mas no fué así: después de las crecientes de 1860 la profundidad se redujo á 9 pies ( $2^m745$ )." Prolongóse entonces rápida-



mente el dique S. hasta la longitud de 823<sup>m</sup>50, el dique N. alcanzaba entonces 1,403 metros; las profundidades aumentaron pronto, llegando hasta 17½ pies (5<sup>m</sup>337). Cuando la terminación de los trabajos en 1871, podía decirse que el régimen de la desembocadura se había regularizado, ofreciendo la barra una profundidad de 20 pies ó sean 6<sup>m</sup>10; resulta así que el efecto de los diques ha sido doblar la profundidad en la boca de Sulina.

“La profundización de la barra que existía en este brazo del Danubio parece ser un hecho bien adquirido. Es una demostración experimental de la eficacia del sistema de diques longitudinales empleado para suprimir ó disminuir las barras en la desembocadura de los ríos.”—(“Trabajos ejecutados en la desembocadura del Danubio, de 1857 á 1871, bajo la dirección de la Comisión Europea.”—Noticia por M. Félix Martin, ingeniero de puentes y calzadas.—*Anales de Puentes y Calzadas*.—1872.—Tomo II).

#### MEJORAMIENTO DE LA DESEMBOCADURA DEL MISSISSIPPI.

El Mississippi se ramifica á 20 kilómetros de su desembocadura en el Golfo de México, en tres brazos principales; el brazo del S.O. y el de Loutre (que se divide á su vez en tres brazos) llevan mayor volumen de agua que el Paso del Sur. Estos brazos, que constituyen el delta, se prolongan constantemente por efecto del enorme depósito de 190 millones de metros cúbicos de lodos que el río acarrea; todos ellos presentan en sus respectivas desembocaduras una barra cuya profundidad, en el estado natural, era de 5 metros, mientras que en el interior del río, en 195 kilómetros, hasta Nueva Orleans, las profundidades medias casi alcanzan 30 metros. Así, el obstáculo de las barras llegó á ser considerable para el puerto de Nueva Orleans, cuando el extraordinario desarrollo del tráfico marítimo empleó barcos de 1,000 á 5,000 toneladas, calando de 16 á 23 pies (5 á 7 metros). Durante varios años y hasta 1875, el Gobierno



americano gastó anualmente sumas considerables en dragados en el brazo del S.O., el más frecuentado, manteniendo en la barra un canal de 15 á 20 pies (4<sup>m</sup>57 á 6<sup>m</sup>10) de profundidad, en una anchura de 15 á 60 metros; mas este procedimiento, además de costoso era efímero, por cuanto que un temporal azolvaba de un día á otro el canal, y era insuficiente, dado el calado de los grandes buques llamados al tráfico por la desembocadura. Se hizo pues urgente una profundización completa y permanente de una de las bocas del gran río.

La comisión de ingenieros nombrada por el Gobierno para estudiar el problema del mejoramiento, presentó en 1874 el proyecto de un canal lateral que, comunicando directamente con el mar la parte profunda del río, se creyó "la única solución precisa y cierta del problema." Este canal, de 11 kilómetros de longitud, se desprendería del río á 60 kilómetros de su desembocadura, y dirigiéndose hacia el E. en línea recta, terminaría al S. de la isla Breton. Pero se objetó que el paso de las esclusas de tal canal, entorpecería mucho el movimiento tan grande que ya existía entonces y era de esperarse aumentaría considerablemente, y el cual reclamaba una vía navegable "ampliamente abierta y practicable en cualquier tiempo," en vista de lo cual se optó, después de observaciones y estudios comparativos, por el proyecto opuesto, del mejoramiento directo de una de las bocas del delta. Entre los brazos se escogió para tal objeto, el llamado Paso del Sur, el de menor consideración, pues sólo tiene 213 metros de anchura media; el espesor de su barra, medido según el eje del canal entre las dos curvas de 6<sup>m</sup>70 de profundidad, era al principiar los trabajos, en 1875, de 3,600 metros, de los cuales en casi 800 metros la profundidad no excedía de 2<sup>m</sup>50, por cuya causa era muy poco frecuentado por la navegación marítima.

De 1838 á 1874, en un período de 35 años, la barra había avanzado 30 metros anuales por término medio, mientras que la barra del paso del Suroeste, el más frecuentado por las embarcaciones, avanza anualmente 90 metros; esta circunstancia



parece demostrar que el paso del Sur acarrea menos aluviones que los otros brazos, á lo que debe haberse debido principalmente su elección. En cuanto á las otras bocas se las dejaba completamente libres.

Los trabajos fueron emprendidos en 1875 por el célebre ingeniero James B. Eads, quien fué autorizado por el Gobierno para construir, mediante 5.200,000 dollars, pagados por plazos, los diques que habían de provocar la apertura de un ancho y profundo canal á través de la barra del brazo del Sur, que procurara á los buques una profundidad de 20 pies (6<sup>m</sup>10) bajo el nivel medio de la alta mar cuando el río está en estiage, en los primeros treinta meses; una profundización ulterior de 2 pies (0<sup>m</sup>61) al menos, en el curso de cada uno de los tres años siguientes, llegándose así á obtener una profundidad total de 26 pies (7<sup>m</sup>93). Después de conseguida esta profundidad, se la aumentaría aún hasta 30 pies (9<sup>m</sup>15).

Para llevar á cabo este proyecto el ingeniero Eads se fundó en los siguientes razonamientos: “El brazo Sur del Mississippi presenta los caracteres de los ríos que desaguan en los mares sin mareas. Después de ser constante durante 15 kilómetros, su sección transversal cambia; las orillas que el mismo río se forma van descendiendo hasta sumergirse en el mar, al mismo tiempo que el fondo se levanta por una contrapendiente cuya arista culminante, que constituye la barra, se encuentra á algunos kilómetros de distancia. Prolongando artificialmente las orillas por dos diques paralelos, la barra será atacada, pero se reformará un poco más lejos. Sin embargo siempre se habrá ganado con su abatimiento temporal.”

Este es el punto de partida ó *principio del sistema*: “Si se construyen, dice Eads, rápidamente, en algunos años, diques de una longitud tal que los aportes del río se depositen en partes profundas del mar (donde se constituirá lentamente el subbasamento sobre el cual más tarde se elevará la barra), se puede esperar que hasta después de un siglo ó más, no se reformará el obstáculo; basta tomar una delantera conveniente al



prolongamiento natural del brazo: para un avance de 30 metros por año, un kilómetro de dique puede dar más de 30 años de delantera.”

Se encerró pues el brazo Sur del Mississippi entre dos diques paralelos comprendiendo un canal de 300 metros de anchura; los diques se elevaron en toda su longitud hasta pasar la cresta de la barra, llegando al punto en que había 35 pies de agua. Estos diques, debiendo construirse de la manera más económica y faltando en las bocas del Mississippi la piedra y la grava, se construyeron de manera análoga á los de Holanda, con grandes colchones de enfaginados, flotantes y sobrepuestos, se les cargaba de la cantidad de enrocamientos necesaria para determinar su inmersión, guiados por largos pilotes clavados de antemano en el fondo y ligados en su parte superior por polines de madera. El cuerpo de los diques así formado, se empasta y cubre con el lodo y materiales que traen las aguas, de manera que pueden resistir á la acción de la *broma* ó *toredo navalis* y adquieren la cohesión necesaria para constituir definitivamente las orillas del canal. Tienen los diques de 6 á 8 metros de anchura en el coronamiento y de 10 á 15 metros en la base.

Para que tuviesen la duración y solidez suficientes, se aumentó considerablemente el espesor en algunos puntos y se les revistió con enrocamientos naturales, sobre todo hacia las extremidades, donde los diques se asientan debido á la compresión de los colchones y del fondo, así como también por el golpe de las marejadas. Se había previsto que los diques contendrían  $\frac{1}{3}$  de enrocamientos por  $\frac{2}{3}$  de enfaginados, entrando un total de 150,000 metros cúbicos de piedra, pero se empleó menor cantidad.

Se ayudó la acción de socavación del fondo determinada por los diques, con numerosos espolones y poderosos dragados; ya en 1876 las dos curvas de 20 pies (6<sup>m</sup>10) situadas antes y después de la barra, se habían unido, reinando esta profundidad mínima en una anchura de 60 metros.



En 1877 la profundidad alcanzó á 6<sup>m</sup>70 en 60 á 80 metros de ancho en la cresta de la barra, habiendo adquirido los diques una longitud de 3,650 metros y 2,500 metros respectivamente. Después continuó el aumento de profundidad hasta llegar á 26 pies ó sean 7<sup>m</sup>93, que se reconoció suficiente para considerar como un éxito el resultado de estos grandes trabajos, pues como dice el ingeniero Malezieux: “el resultado hasta hoy obtenido sobrepuja, bajo el punto de vista de arte y en importancia material, á todos los que hasta aquí había producido el sistema de estrechamiento del lecho de los ríos.” Y después agrega:

“Deseemos para él (Mr. Eads) que los extremos de sus diques no sean arrancados por las tempestades ni enterrados en el suelo movedizo que los soporta; que las maderas blandas de sus enfagados se cubran con el lodo antes de ser devoradas por el toredo-navalis, y en fin, que la barra puesta en fuga por el momento, no reaparezca antes del tiempo previsto por su intrépido adversario.”—(“Los Trabajos Públicos en los Estados Unidos,” Conferencia dada en el palacio del Trocadero el 7 de Agosto de 1878, por M. Malezieux, ingeniero en jefe de puentes y calzadas).

Cualesquiera que sean las críticas dirigidas á esta atrevida y grandiosa solución, los resultados obtenidos compensan seguramente los sacrificios hechos y parecen comprobar las previsiones del ilustre Capitán Eads, pues á pesar de no haberse demostrado la existencia de poderosas corrientes litorales en los parajes del Golfo de México cercanos á las bocas del Mississippi, capaces de arrastrar sus enormes atierres, es un hecho que la desembocadura mejorada ofrece notable profundidad.

#### OBRAS EN LA BARRA DE TAMPICO.

El puerto de Tampico, situado en la margen izquierda del río Pánuco, á 12 kilómetros de su desembocadura en el Golfo de México, es actualmente uno de los más importante de nues-



tro país, debiendo sobre todo su desarrollo á las obras ejecutadas en la barra del Pánuco, las que han permitido que penetren á las aguas tranquilas y profundas del puerto, grandes vapores de más de 1,000 toneladas y gran calado, los cuales, antes de que se emprendieran los trabajos de mejoramiento, no podían entrar por impedírseles la barra que apenas daba 6 á ocho pies de profundidad y cuyo canal divagaba á cada creciente del río, ó se *cruzaba* con los temporales de la mar, tan frecuentes en nuestro litoral del Golfo durante la estación ó época de Nortes.

Ese estado de cosas perjudicaba grandemente el desarrollo de Tampico, que por su situación, tanto con respecto á los puertos de los Estados Unidos en la costa del Golfo de México, como con respecto á los Estados del interior de la República Mexicana, ha estado destinado á ser el puerto de estas últimas regiones. Así, cuando se trató de unirlo por medio de un ramal del Ferrocarril Central á la red ferrocarrilera del interior, se pensó con sobrada razón que para el éxito de tal empresa era necesario hacer de Tampico un puerto en el que las operaciones fuesen seguras y económicas, pues por el obstáculo de la barra, dichas operaciones de alijo, etc., teniendo que hacerse por embarcaciones pequeñas que iban á comunicar mar afuera con los grandes vapores, eran necesariamente peligrosas muchas veces, imposibles otras y siempre aumentaban los fletes. Los trabajos para el mejoramiento de la barra fueron entonces contratados con el Gobierno general por una empresa americana, la cual procedió á ellos bajo la dirección del ingeniero E. L. Corthell, émulo del Capitán Eads en los trabajos de los diques del Mississippi. El sistema adoptado fué en un todo semejante al empleado por Eads en la boca del Sur del gran río, tanto bajo el punto de vista del principio, como respecto al sistema de construcción.

En efecto, las condiciones naturales son las mismas, aunque notablemente aminoradas por lo que se refiere al volumen de las aguas fluviales y á la cantidad de aluviones que acarrear;



era pues de esperarse el conseguir más pronto y fácilmente la destrucción de la barra.

Para esto se construyeron dos diques paralelos ó escolleras, que conservando entre sí la anchura media del cauce, se prolongan hasta 7,000 pies en el mar, donde la profundidad alcanza 29 pies, y donde se ha esperado encontrar alguna porción de la corriente del Golfo (Gulf-Stream) que pudiera barrer con gran parte de los atierres del Pánuco.

Los diques, iguales á los del Mississippi, constan de dos partes esenciales: la obra provisional y la obra definitiva, ó dique, propiamente dicho. La obra provisional (fig. 3) no es más que un largo estacado de madera que, siguiendo la dirección del dique ó escollera, sirve para la sumersión de los colchones de enfaginados y los enrocamientos que constituyen el macizo de dichos diques.

Esta obra provisional ó estacado, está compuesta de caballetes de madera de pino separados entre sí 15 pies y formados transversalmente con 4 á 8 pilotes (según las profundidades), distantes de eje á eje de 7 á 8 pies, y cortados á una altura de 10 pies sobre el nivel medio de la marea alta. Sobre las cabezas de estos pilotes se fijan, por medio de pernos, los polines ó sombreros que soportan á su vez los largueros, sobre los que reposan, por intermedio de durmientes, una ó dos vías férreas de servicio. Los caballetes están contraventeados por diagonales (fig. 3),

En la obra definitiva, que constituye los diques ó escolleras, se distinguen dos partes: la inferior ó sub-basamento y la superior ó coronamiento. El sub-basamento consta de capas alternativas de enfaginados y de enrocamientos naturales. Cada colchón está formado por un cuadro inferior de madera dividido por otras piezas de madera transversales, formando cuadrados de 6 á 7 pies de lado, cuyos cruceros están atravesados por varillas de fierro suficientemente largas, para que después de colocar sobre el cuadro una serie de capas de rollos (formados con ramas de arbustos amarradas con bejucos), hasta



obtener un espesor de 6 á 7 pies, atraviesen los cruceros de otro cuadro de madera colocado encima; por medio de fuertes amarres hechos con las varillas, se comprimen fuertemente las capas de rollos que forman el colchón. Estos colchones se sumergen, estando suspendidos por cables á los polines de la obra provisional, arrojando sobre ellos la cantidad necesaria de enrocamientos y desatando simultáneamente los cables de suspensión.

La sección transversal de cada colchón es trapezoidal, con objeto de ir proporcionando los taludes del dique.

Sumergidos los colchones, se revistieron los taludes con enrocamientos de mayores dimensiones, que llegaban hasta dos toneladas de peso, sirviéndose para su inmersión, de gruas de vapor que se movían sobre las vías del estacado ú obra provisional; sobre estas mismas vías circulaban las plataformas que traían los rollos y enrocamientos hasta el lugar de inmersión de los colchones. La última capa de rollos quedaba al nivel de la alta marea, y la capa superior del enrocamiento 2 pies arriba del mismo nivel. El coronamiento de los diques se ha formado con el enrocamiento de mayores dimensiones, dispuesto de manera que forme una superficie convexa, la que, cubierta con una ligera capa de betón, servirá para instalar más tarde la vía de servicio.

Además de los diques, las obras se han completado como en el Missisipi, con espolones de 100 pies de longitud próximamente, dirigidos normalmente á la corriente, con el objeto de rectificar el canal á la entrada del río. Estos espolones están formados de dos hileras de pilotes á un metro de distancia y relleno este intermedio con rollos iguales á los empleados en los diques.

Los resultados obtenidos hasta hoy parecen ser satisfactorios, aunque no tanto como se esperaba, pues para conservar las profundidades de 22 á 24 pies en el canal, se hace necesario el empleo de dragas y la prolongación de los diques. Sin duda que no se podrá llegar á un estado de equilibrio definitivo, mientras



una corriente litoral constante no lo establezca; y hasta hoy, que sepamos, no se ha comprobado su existencia en los parajes de la desembocadura del río Pánuco.

#### LA DESEMBOCADURA DEL RÓDANO.

El Ródano desemboca en el Mediterráneo, mar sin marea, por varias bocas que variaban espontáneamente en número y posición, lo mismo que en profundidad. El brazo del Este era generalmente el seguido por la navegación, que apenas encontraba de 1 á 2<sup>m</sup>50 de profundidad en la barra que lo cierra.

Para profundizar y mantener un canal á través de la barra, el ingeniero Surrel propuso en 1847 cerrar los otros brazos, de manera que la corriente entera del río saliera por la boca del E., que sería fijada por medio de dos diques longitudinales, comprendiendo un canal de 500 á 600 metros de anchura.

Los diques eran sumergibles para las altas aguas y estaban formados con pilotes de madera unidos por muescas, formando así el esqueleto de cajones de 4 metros de ancho, rellenos con capas alternativas de enrocamientos y enfaginados, y cuyos pies estaban defendidos por otro enrocamiento (fig. 4). Otros diques insumergibles más separados, formaban el lecho mayor del río y estaban destinados á contener las crecientes, sin que produjesen río arriba una sobreelevación muy considerable.

Los trabajos fueron empezados en 1852 y ya en 1855 se habían cerrado los otros brazos (Roustan, Piémanson y Eugenio) (fig. 5). Pero naturalmente, al concentrar el total de la corriente, se concentraron también los atierres, y no existiendo en el Mediterráneo, hacia la desembocadura, corriente litoral suficiente para barrer los aluviones, la barra se reformó adelante del extremo de los diques, y cuando éstos se prolongaron, la barra no hizo más que avanzar, siempre delante de ellos.

Visto el mal éxito del sistema, se abandonó por completo pa-



ra recurrir á la vía artificial, construyendo el canal de San Luis (fig. 5).

Este canal se desprende de la margen izquierda del río, á 8 kilómetros arriba de la barra y dirigiéndose de Oeste á Este, desemboca en el Golfo de Foz, precisamente en una ensenada muy tranquila, llamada "ensenada de reposo;" tiene el canal una longitud de 3,300 metros, el ancho en el fondo es de 30 metros, mientras que al nivel de las bajas mareas es de 63 metros; tiene una profundidad mínima de 6 metros. Enrocamientos mamposteados, elevados hasta 1<sup>m</sup>30 sobre el nivel de las bajas mareas, defienden los taludes. El canal desemboca en el mar por un ante-puerto formado por dos jetées: una al S. paralela al eje del canal á 48<sup>m</sup>20, se prolonga hasta profundidades de 6<sup>m</sup>50 y tiene 1746 metros de longitud; la jetée del N. se desprende del punto de la costa situado á 1,350 metros del eje del canal, va hasta 3<sup>m</sup>25 de profundidad después de una longitud de 500 metros y converge hacia el extremo de la jetée del S.

Del origen del canal en la orilla del río, hasta el mar, la diferencia de nivel es salvada por una esclusa de 22 metros de anchura, 7<sup>m</sup>50 de profundidad de agua, 184<sup>m</sup>50 de longitud total y 160 metros de longitud útil, la cual cierra el canal del lado del río, estando dispuesta en sentido contrario á la corriente con objeto de impedir los depósitos fluviales á la entrada y hacer más fácil su acceso á pesar de los vientos y corrientes. La caída salvada por la esclusa es por término medio de 0<sup>m</sup>50, pero puede llegar hasta 1<sup>m</sup>88 en crecientes y también ser nula y aun negativa ó de sentido contrario cuando la superficie del mar está agitada por fuertes vientos. El canal alimentado por el mar, no recibe del Ródano sino el volumen de las esclusadas y por consiguiente, dada además la posición de la esclusa, los atierres fluviales no son de temerse.

Esta vía artificial, abierta al tráfico en 1871, ha dado una solución satisfactoria al problema de la navegación en la desembocadura del Ródano.



## EL CANAL MARÍTIMO DEL EBRO (ESPAÑA).

En 1770 para salvar las dificultades del paso de la barra de la desembocadura del Ebro en el Mediterráneo, se abrió un canal lateral ó más bien una derivación, que partiendo de la margen derecha del río, en Amposta, terminaba en la rada de Alfaques al S. del delta. Pero en 1784, este canal se había azolvado por las crecientes del río, y una barra lo había obstruído en su desembocadura.

No fué sino hasta 1852 cuando se estudió nuevamente la cuestión: se proyectó y empezó á ejecutarse entonces un canal que desembocara en el Mediterráneo, eligiéndose para esta desembocadura la rada de Alfaques por ser la más profunda y abrigada; se volvió pues al proyecto primitivo, ejecutado en el siglo anterior, pero para evitar un nuevo azolve, se convino en que el nivel del agua del canal fuera superior al de las más altas crecientes del Ebro; para lo cual fué necesario tomar bastante arriba las aguas del mismo río, las que fueron conducidas por un canal de alimentación hasta el canal de navegación, que situado á un nivel superior al del río, fué comunicado con éste por medio de una esclusa. Por medio de otras esclusas se descendió hasta el nivel del mar.

El canal de Amposta á San Carlos (bahía de Alfaques), tiene un desarrollo de 10,334 metros, sin contar las esclusas; se divide en dos *balsas*: la superior de 4,955 metros de longitud y la inferior de 5,370 metros. El fondo de la balsa superior ó balsa de *división de aguas* está á 2<sup>m</sup>58 sobre el estiage de Amposta, ó sean 2<sup>m</sup>70 sobre el nivel del mar; el fondo de la balsa inferior está á 1<sup>m</sup>50 bajo el precedente. El ancho del fondo del canal es de 20 metros y su profundidad bajo el nivel del agua 1<sup>m</sup>50, pero como las orillas se elevan 1<sup>m</sup>20 sobre este nivel, se puede aumentar la profundidad elevando el nivel del agua cuando la navegación lo exija; los taludes á 45° están revestidos con enrocamientos en toda la longitud del canal.



Las tres esclusas están construídas para admitir vapores de 50 metros de longitud por 10 metros de ancho fuera de los tambores de las ruedas; las dimensiones de las esclusas son: longitud total=75<sup>m</sup>50; ancho del cárcamo=10<sup>m</sup>50. La caída de la esclusa de Amposta, de la balsa superior sobre el Ebro, es de 3<sup>m</sup>78; la esclusa intermedia tiene una caída de la balsa superior á la inferior de 1<sup>m</sup>50; y la esclusa de la balsa inferior tiene una caída hacia el mar, en San Carlos, de 2<sup>m</sup>20. En este último punto, la desembocadura del canal está expuesta á la invasión de las arenas traídas por la corriente litoral; para evitarlo se construyeron dos diques comprendiendo un canal de 15 metros de ancho, que avanza en el mar hasta 2 metros de profundidad; para conservar ésta, se barre el canal con golpes ó corrientes de agua producidas por medio del juego de los postigos de las puertas de la esclusa.

El canal de alimentación toma las aguas del Ebro, río arriba, en la presa de Chesta, y sirve, además de dar agua al canal de navegación, para la irrigación de los terrenos situados entre Chesta y el mar. Su longitud es de 28,551 metros, con una pendiente de 0<sup>m</sup>000113 por metro, un ancho de 10 metros en el fondo de Chesta á Tortosa (donde empieza la irrigación), que va disminuyendo hasta Amposta, donde tiene 8 metros; su profundidad es de 2 metros y su gasto de 16.61 metros cúbicos por segundo en Chesta y de 13.5 metros cúbicos en Amposta.

Como se ve "el canal lateral de la desembocadura del Ebro difiere notablemente del canal lateral de la boca del Ródano; son dos tipos diferentes de una misma idea." (de Lagrené.— Cours de Navigation Intérieure, tomo I).



### **Ríos que desembocan en mares de fuerte marea.**

En su estado natural, la mayor parte de los estuarios donde las corrientes alternativas de las mareas hacen sentir sus poderosos efectos, presentan dificultades para la navegación, sea porque el canal ofrece bruscas sinuosidades en plano, como consecuencia de las cuales bancos ó altos fondos hacen irregular el perfil longitudinal y la sección transversal, sea por las islas y bancos alargados que formaron las corrientes del reflujó y del primer flujo y las que constituye en las curvas esta última corriente, cuyos bancos é islas dividen el río en brazos sin profundidad en los que el canal varía frecuentemente, el resultado es, como se dijo anteriormente, que la capacidad del estuario para la recepción de las mareas disminuyendo por las causas referidas, el reflujó no puede barrer con todos los aluviones que baja el río ni con los que la misma marea hizo subir con la corriente de flujo. En resumen, se puede decir que los materiales que constituyen el lecho del río descendiendo hacia su parte marítima, y el flujo introduciéndose por otra parte, los aluviones litorales. tienden á colmar el lecho, que sólo debe su conservación á la acción de la corriente de reflujó cuando sus efectos destruyen á los anteriores; y como tal estado de equilibrio sólo existe excepcionalmente, se infiere que la mayor parte de las desembocaduras ó estuarios de los ríos de marea exigen, para su fácil navegación, trabajos de mejoramiento considerables.

La solución natural y directa del problema consiste, en el presente caso, en provocar el equilibrio facilitando la acción del reflujó, esto es, disponiendo el lecho del río para hacer predo-



minar los efectos de esa corriente; pero como ellos dependen del volumen líquido introducido por el flujo, se infiere, que el lecho del río deberá facilitar, en cuanto sea posible, tanto la entrada del flujo como la acción del reflujo. Muchas veces esta doble condición presenta grandes dificultades prácticas, como sucede en una concavidad, donde el flujo tiende á producir una profundidad mayor río arriba del vértice ó medio de la curva, mientras que el reflujo tiende á socavar río abajo de dicho vértice; pero puede decirse que en general la acción de las mareas se facilitará, cuanto más desembarazado esté el cauce de los obstáculos que se oponen á la marcha de ambas corrientes, y por consecuencia, cuanto más regulares sean las secciones longitudinal y transversal de dicho cauce.

De tal principio se deduce que se procurará reunir los diversos canales en que han dividido el lecho los bancos é islotes, en uno solo, por una rectificación conveniente; que se deberán hacer desaparecer por excavaciones ó dragados los altos fondos que las corrientes no puedan destruir, como rocas, gravas, bancos de arcilla, etc. Se evitarán, siguiendo el mismo orden de ideas, los cambios bruscos de curvatura en plano, pues como se ha visto, determinan cambios bruscos en la sección y en las profundidades del canal; con igual mira se emplearán en la regularización del cáuce, curvas de radios considerables, que se enlazarán de una manera continua y casi insensible, evitándose en lo posible los largos alineamientos rectos.

Con el mismo fin de regularizar ó uniformar la velocidad de la corriente de reflujo, de donde depende la regularización del lecho, conviene que la anchura media de éste aumente desde el punto en que deja de sentirse la marea, hasta la desembocadura en el mar, donde se enlazará con el contorno del litoral; puesto que en virtud del decrecimiento del volumen de la marea á medida que se remonta el río, en cada sección, á partir del límite de las mareas, pasa mayor volumen de agua en el reflujo que en la sección situada río arriba; para conservar pues á las aguas la misma velocidad en las diversas secciones,



éstas deberán aumentar progresivamente. Este aumento deberá ser tanto más pronunciado, cuanto mayor sea la amplitud de la marea y más rápida la pendiente del río; se determinará en cada caso según el régimen del estuario.

El ensanche progresivo del lecho, esto es, la separación progresiva de los diques que lo limitan, se calculará de manera que la pendiente superficial del río venga á enlazarse hacia la desembocadura con el nivel de la baja marea, pues si el aumento de anchura es demasiado fuerte, el pie de la pendiente de la superficie del río encontrará el nivel de la baja mar á cierta distancia río arriba, y el refluo no tendría bastante potencia para barrer los atierres que forman la barra en la desembocadura; si por el contrario, esta desembocadura es demasiado estrecha, el nivel del agua quedaría demasiado elevado en el río, y el flujo no pudiendo por esto extenderse muy lejos río arriba, la potencia del refluo sería debilitada y además el río podría llevar sus atierres propios más abajo, con lo cual la barra aumentaría al mismo tiempo que disminuían las profundidades en toda la parte marítima del río.

En cuanto al nivel del coronamiento de los diques que fijan el cauce, hay que tener en cuenta para determinarlo, que si bien es cierto que los diques insumergibles dirigen y concentran totalmente las corrientes, por este mismo hecho provocan atierres detrás de ellos y limitan la capacidad de recepción del lecho para el flujo y por consiguiente debilitan la acción del refluo; mientras que los diques sumergibles por la marea, conservan al estuario toda su capacidad para almacenar dicha marea y forman al mismo tiempo un lecho menor que concentra la corriente de refluo, sobre todo hacia la marea baja que es cuando más bien barre los aluviones del fondo.

Pero dejando los diques muy bajos, pueden producir en el canal corrientes transversales y disminuir la velocidad hasta el grado de determinar atierres; pueden también ser en este caso, peligrosos para las embarcaciones, constituyendo escollos cubiertos por las aguas durante la mayor parte del tiempo.



En casi todos los casos será conveniente que el coronamiento de las obras esté á un nivel un poco superior al del agua en el momento de la baja mar. Por lo demás, como en todas las obras de esta naturaleza, la cuestión del nivel de los diques es esencialmente particular á cada río y aun á cada parte de un mismo río, por lo que no es extraño que en tal materia se hayan vertido tan diversas opiniones.

A medida que el cauce presenta menos obstáculos á las corrientes de marea, éstas podrán adquirir mayor desarrollo, es decir, que se podrá aumentar la capacidad de recepción de un estuario y con ello el efecto correlativo de profundización por la marea descendente, hasta que se llegue al estado de equilibrio que dará la completa solución del problema.

Ese fin se alcanzará más pronto ayudando la acción de las mareas por medio de dragados, allí donde la observación de los efectos provocados por los diques haga ver su necesidad; los dragados en estas circunstancias no son muy costosos y tienden cada día á serlo menos, debido á los continuos progresos de la mecánica industrial. Por lo tanto "se puede decir que los trabajos de mejoramiento de los ríos de marea han dado resultados tanto más satisfactorios, cuanto la rectificación del lecho ha sido acompañada de dragados emprendidos en mayor escala." (Laroche.—Travaux Maritimes).

Algunas veces se ha recurrido al empleo de diques transversales ó espolones sumergibles que dirijan la corriente de reflujo, sin impedir el acceso del flujo; pero este procedimiento creando diferencias de velocidad en la corriente de marea descendente, provocará una socavación hacia la sección del lecho afectada por los diques; pero más adelante, faltando éstos, la corriente no conservará su poder para transportar los materiales arrancados; los depositará, pues, formándose así una serie de irregularidades en el cauce, cuyo estado general empeorará con el mejoramiento de puntos determinados. Estos efectos resultarán siempre de un estrechamiento parcial, ya sea con espolones ó con diques longitudinales. Para que el sistema de



diques produzca resultados completos y satisfactorios, deberá, pues generalizarse en toda la extensión de la parte marítima de un río, adonde se tratará de atraer el mar facilitándole el acceso para utilizar sus poderosas corrientes alternativas, en la profundización, fijeza y regularización del canal.

Tal es el objeto de este sistema, que consiste, en resumen, en combinar una rectificación del lecho con profundizaciones del canal. Toda obra de este género deberá construirse de manera que pueda modificarse sin muchos gastos, en el caso de que la experiencia indique la necesidad de algunos cambios, ya sea en el trazo y separación de los diques, ya en su elevación ó en sus dimensiones mismas.

El sistema de construcción de los diques, es variable en cada caso, según los materiales de que se pueda disponer con más economía en la localidad; pues como estas obras deben adquirir un gran desarrollo y al propio tiempo, según se acaba de indicar, deben ser susceptibles de variaciones, así como presentar gran resistencia á costa de sus dimensiones transversales, es necesario que dichos diques cuesten poco por metro lineal, y se comprende que generalmente se empleen los materiales que se hubieren más cercanos al lugar de los trabajos. Así por ejemplo, los diques del Sena marítimo están formados de bloks naturales de 5 á 8 metros cúbicos, extraídos de los bancos calcáreos situados en las orillas del río. Cuando los enrocamientos son escasos se forma el cuerpo de los diques, de grava, empleando los enrocamientos sólo en los paramentos ó taludes; ó bien se constituye el macizo con plataformas ó colchones de enfaginados, los cuales se sumergen cargándolos de enrocamientos cuando están sometidos á fuertes agitaciones, y de arena y tierra cuando se construyen en aguas tranquilas. Los diques así formados tienen la ventaja de ser flexibles, por decirlo así, pues se apoyan sobre todas las desigualdades del fondo, que no exige ninguna preparación para recibirlos; además como siempre tienden á producirse socavaciones, sobre todo al pie de los taludes, á lo largo de las orillas del canal, la



flexibilidad de los enfagnados les permite seguir los asentamientos y llenar las socavaciones protegiendo los bordes. Estos diques y jetées se consolidan prontamente con los lodos y los moluscos que se adhieren; tal ha sucedido con las jetées de la entrada del Mosa en Hoek van Holland (fig. ), en las jetées del Mississippi y en las escolleras de Tampico.

En los diques sumergibles formados con enrocamientos, éstos se disponen á fondo perdido; en ocasiones (diques del Sena fig. ) en el coronamiento y los taludes los enrocamientos están colocados á mano; aunque esta disposición presenta las ventajas debidas á la solidaridad, en cambio el coronamiento no puede seguir los asentamientos que puedan producirse en el cuerpo del dique, por lo cual nunca es conveniente un aparejo cuando el subasamento no ofrece una estabilidad completa. Por lo demás el modo de construcción de los diques puede variar según las circunstancias; así por ejemplo, en el estuario del Tees (Inglaterra) los diques se formaron primero con un macizo de arcilla defendido por un enrocamiento de escorias de los altos hornos; después solamente se empleó esta última material pues no tenía ningún costo, y antes bien, las numerosas fundiciones de la localidad pagaban para que se les desembarazara de esos residuos. (Génie Civil.—Enero de 1890).

Muchos ejemplos hay de la solución que acabo de exponer, la que aplicada desde un principio en Francia, al Sena marítimo, al Loire y al Gironda, no ha dado tal vez todos los resultados esperados por no haberse seguido en un todo los principios del sistema establecidos posteriormente; pero que perfeccionándose á medida que las experiencias aumentaron, ha transformado, mejorándola notablemente, la navegación de la parte marítima del Clyde, del Tyne y del Tees, en Inglaterra, así como en Holanda, donde los trabajos de este género presentan notables ejemplos, como el de la regularización y la apertura de la nueva desembocadura del Mosa á través de las dunas arenosas de Hoek van Holland, cuyo cauce artificial está comprendido entre diques cuya separación aumenta gra-



dualmente hacia el mar, adonde se prolonga por dos jetées de 1,860<sup>m</sup> y 1,150<sup>m</sup> hasta profundidades de más 7 metros.

Mas esta solución no es de una aplicación tan general que pueda tener éxito en todos los ríos de marea; la observación ha enseñado que cada río tiene su manera de ser enteramente particular, dependiente de los variados elementos que constituyen el régimen de las desembocaduras, y una solución del problema de su mejoramiento para dar resultado deberá apropiarse al caso que se estudie.

En efecto, en algunos ríos el hecho de facilitar y aumentar la acción de las mareas no basta para obtener la fijeza y profundidad del canal, pues si el movimiento de los aluviones marinos de la costa es tan activo que llegue á ser factor predominante, se comprende que las corrientes de marea sean impotentes para detener la formación del cordón litoral que consolidado y aumentado con los aluviones fluviales que arrastran las corrientes de reflujo, constituyen la barra, la cual avanza en el sentido de los atierres litorales desalojando continuamente la desembocadura.

Esto sucede en el río Senegal, en los ríos de la costa francesa del Golfo de Gascuña, en el más importante de los cuales, el Adour, se ha tratado de fijar y profundizar la barra por medio de jetées ó diques longitudinales discontinuos, formados con columnas huecas de hierro fundido rellenas de betón y bastante próximas una de otra, para contener en el canal que forman los diques, la masa principal de la corriente; mientras que su separación es suficiente para que los aluviones litorales puedan pasar por entre los intervalos que dejan las columnas y continúen su camino á lo largo de la costa. Esta idea de principio ha dado lugar en la práctica á algunas dificultades, pues si bien es cierto que mientras los diques ó estacados son de corta longitud con relación al ancho del canal que limitan, la masa principal de la corriente se mantiene entre ambos, por ser muy pequeña la parte de esta corriente que puede escaparse por los claros, no es menos real que á medida que las jetées



adquieren gran longitud, la porción de la corriente que pasa entre las columnas aumenta, disminuyendo por lo tanto la acción socavante que dicha corriente debía ejercer sobre la barra para fijar y profundizar el canal. Ha sido, pues, necesario para contrarrestar ese efecto, disminuir los claros; para esto se dispusieron en un principio, entre las columnas, compuertas que cerraban á voluntad los claros, pero no dieron resultado por no presentar suficiente resistencia á las marejadas. Decidióse entonces disminuir la superficie de los claros, no en ancho, sino en altura, para lo cual se rellenaron los intervalos de las columnas con enrocamientos hasta un nivel inferior á la marea baja. Pero de esta manera se obstruyó el paso á los aluviones del fondo, apartándose por lo tanto del principio del sistema; natural es suponer que entonces los aluviones se acumularán del lado exterior y acabarán por invadir el canal. Muchas veces las columnas de hierro colado rellenas de betón, no presentan suficiente resistencia á las fuertes marejadas y dan lugar á reparaciones que aumentan los gastos de conservación. En resumen, aunque con este sistema se haya logrado en el lugar de su aplicación, fijar el paso de la barra, no ha dado resultados tan satisfactorios en lo que se refiere á las profundidades, y sí presenta serios inconvenientes, para que pueda generalizarse en casos análogos.

Se comprende que en estas circunstancias la acción de las mareas es más bien perjudicial que útil, y será decididamente nociva al estuario, cuando por consecuencia de la preponderancia de los aluviones marítimos en la desembocadura, el flujo introduce mayor cantidad que la que puede barrer el refluo, pues estos atierres unidos á los que bajan por el río, formarán pronto bancos que al irse desarrollando irán haciendo cada vez más sinuoso y falto de profundidad el canal que sigue la navegación.

En estos casos, no es extraño que se haya ideado el substraer los ríos al influjo de las corrientes de marea que tienden á azolvarlos, construyendo un dique transversal que cierre el es-



tuario oponiéndose al acceso de la marea. Para esto el dique ha de ser insumergible por la marea alta; para el paso de las embarcaciones lleva una esclusa lateral, así como también se adoptan disposiciones para dar salida al escurrimiento del río.

Esta solución fué propuesta á principios de este siglo para mejorar la desembocadura del Sena, y se ejecutó en la misma época en el estuario del Vire, río que desagua en la Mancha, transformando el puente del Vey (situado algunos kilómetros arriba) por medio de compuertas, en un dique ó presa esclusada. El resultado del sistema ha sido contraproducente, es decir, el azolve del río abajo del dique, pues como dice Laroche (Travaux Maritimes): "Cuando el flujo llega al dique, pierde su velocidad; el agua asciende verticalmente, sin corriente, á lo largo del obstáculo y en toda la extensión de una región que se extiende más ó menos río abajo; deposita pues forzosamente los aluviones de que venía cargada."

Por otra parte, se ha opinado que si la supresión de la bahía que forma un estuario, fuera completa, esto es, si el dique transversal enlazara directamente los puntos avanzados del litoral limítrofes de la bahía, los atierres exteriores desaparecerían arrastrados por la corriente litoral, cuya marcha no podría ya desviarse hacia el interior. "En otros términos, la existencia de una bahía produce bancos en el litoral, suprimiendo las bahías se suprimen también los bancos y se remplazan por un fondo profundo y uniforme los canales sinuosos y variables que se extendían á lo largo de la costa." "En cuanto á la entrada propiamente dicha del puerto situado en la desembocadura de la bahía suprimida, no es difícil conservarla por corrientes ó golpes de agua y dragados, como se hace en cualquier otro puerto situado en pleno litoral" (de Lagrené—Navigatino Intérieure).

Pero en cambio un dique construído enlazando los extremos de la bahía y por consiguiente en su parte más ancha, sería muy difícil de edificar y conservar sin un costo muy exagera-



do, pues en semejantes circunstancias está expuesto á las marejadas en una gran longitud y por lo tanto sufriría continuamente averías que pueden ser de consecuencias desastrosas. Finalmente el sistema no parece racional ni conveniente, pues que trastornando totalmente el régimen de una desembocadura de mareas, no podrá traer, como sucedió en el Vire, sino consecuencias desastrosas que exijan su pronta supresión, pues nunca será posible oponerse á las leyes naturales que rigen la marcha de los aluviones marítimos y fluviales.

Lo racional es dejar en libertad completa la acción de las mareas, y si la experiencia ha demostrado la ineficacia de un encauzamiento que tienda á facilitarla ó la observación haga presumir que dicha acción no es suficientemente poderosa ó que es más bien nociva para el mejoramiento del estuario, la solución debe buscarse entonces por medios artificiales, con la construcción de un canal lateral independiente del juego de las mareas, y que dejando á un lado la desembocadura comunique directamente con el mar por una esclusa.

Los inconvenientes de esta solución estriban, según se ha visto, principalmente en el costo de ejecución de un canal marítimo, que exige desde luego capitales considerables que no pueden repartirse, como sucede en otros trabajos, en un largo período de tiempo; de donde se infiere que esta solución no es admisible, económicamente hablando, sino cuando un gran tráfico é intereses considerables lo permitan.

Bajo el punto de vista técnico, un canal marítimo debe siempre desembocar en el mar por un puerto, y si éste no existe naturalmente, ó cuando menos existe en malas condiciones, habrá que emprender trabajos para crearlo ó mejorarlo, lo cual implica á su vez grandes gastos y dificultades de otro género. Si dicho puerto existe anteriormente al canal, la apertura de éste es por el contrario conveniente, pues asegura la conservación del puerto preexistente, por las corrientes ó golpes de agua que pueden establecerse periódicamente por el juego de las



compuertas del canal, cuyas corrientes barrerán los aluviones limpiando así los fondos del referido puerto.

Así, en la desembocadura del Somme en la Mancha, se abrió un canal entre Abbeville, donde la marea no es muy sensible, y Saint Valery, puerto situado en la bahía, próximo al mar; el canal recibe libremente todas las aguas del río y desemboca en el puerto de Saint Valery por medio de una presa esclusada que suspende la salida de las aguas fluviales, interceptando toda comunicación durante la alta mar, dándoles salida hacia la marea baja y barriendo así con sus corrientes (chasses) el puerto de Saint Valery. De este puerto al mar, se ha fijado y regularizado el canal de acceso por medio de diques longitudinales.

Esta solución mixta del problema es enteramente racional y ha dado excelentes resultados, pues si en su estado primitivo el estuario se azolvaba por el exceso de aluviones que introducía la marea, no teniendo el reflujo el suficiente poder para limpiar el cauce, se construyó el canal hasta un punto bastante avanzado, para que por medio de la presa esclusada, la salida violenta é intermitente de las aguas del río permitiera, á voluntad, ayudar la acción del reflujo, que así reforzado puede arrastrar todos los aluviones que introdujo el flujo.

Puede decirse como resumen, que si en un principio se ha dudado de la posibilidad de mejorar directamente las desembocaduras de mareas y que se prefería la construcción de canales laterales, actualmente y gracias á las experiencias adquiridas y á los estudios hechos que han permitido conocer mejor la acción de las mareas sobre el lecho, se prefiere (salvo casos excepcionales en que los inconvenientes son palpables) abordar resueltamente el mejoramiento directo de los estuarios por medios que, como los diques longitudinales y los dragados, faciliten el efecto de las mareas, dirigiendo, concentrando y desarrollando su acción. Es un hecho establecido experimentalmente, que en la mayor parte de los casos se puede determinar la forma y la posición de los diques de dirección,



así como la importancia y repartición de los dragados, mediante un estudio concienzudo del juego de las mareas y de la forma y régimen de los estuarios.

---

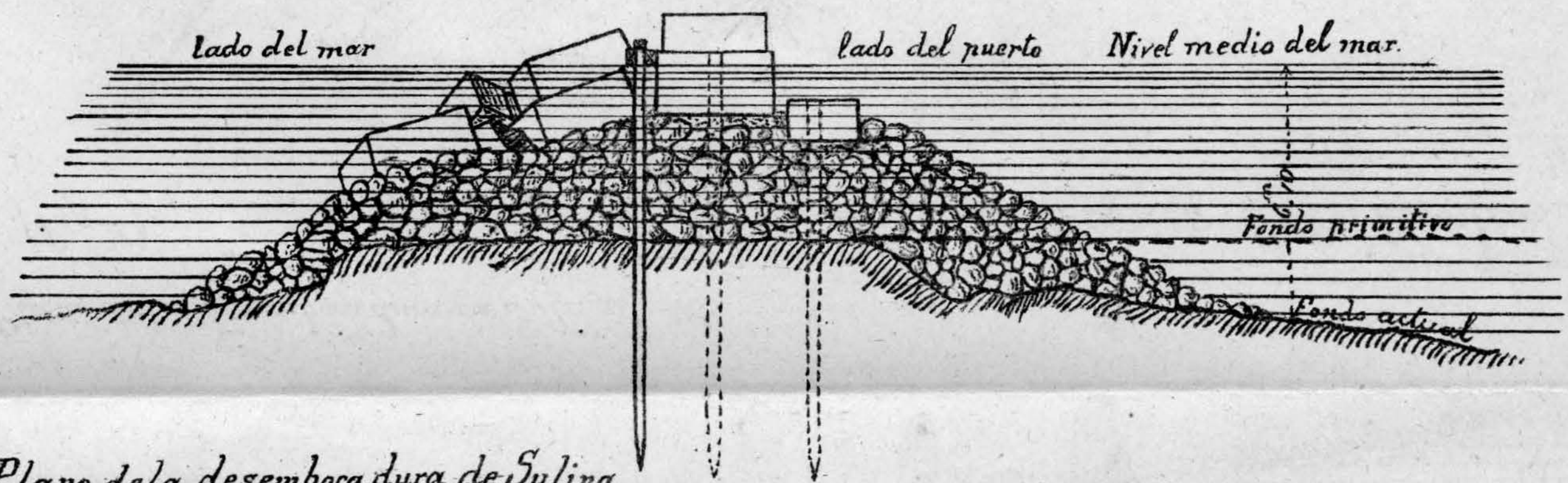
Llegado el término de este ligero estudio, y considerando el conjunto de efectos que las fuerzas naturales producen en la desembocadura de un río, al propio tiempo que los medios de que se vale el ingeniero para contrarrestar aquellos que dificulten la unión de la navegación de los mares con la navegación fluvial, no puede menos de concluirse que hay en el fondo de la cuestión un hecho capital: las fuerzas en acción tienden á un estado de equilibrio en la desembocadura, para llegar al cual necesitan de un espacio de tiempo más ó menos grande; si ese resultado final es conservar la desembocadura para ir esparciendo en las grandes profundidades del mar los materiales de los continentes que transporta el río, hay que favorecer y acelerar la acción de la naturaleza. Pero si el resultado que persiguen esas fuerzas es depositar los aluviones que transportan las aguas, en los litorales y las partes bajas de los continentes, para levantarlos y extenderlos, toda lucha sería infructuosa, puesto que los efectos obedecen á fuerzas constantes é indestructibles; debe dejarse entonces la prosecución de los fenómenos para construir una vía artificial fuera de la esfera de acción de aquellas fuerzas. Mas no siempre es posible prever el resultado final hacia el que tienden las múltiples y variadas acciones que influyen en el régimen de las desembocaduras.

En eso estriba precisamente la dificultad del problema.

PEDRO A. GONZÁLEZ.

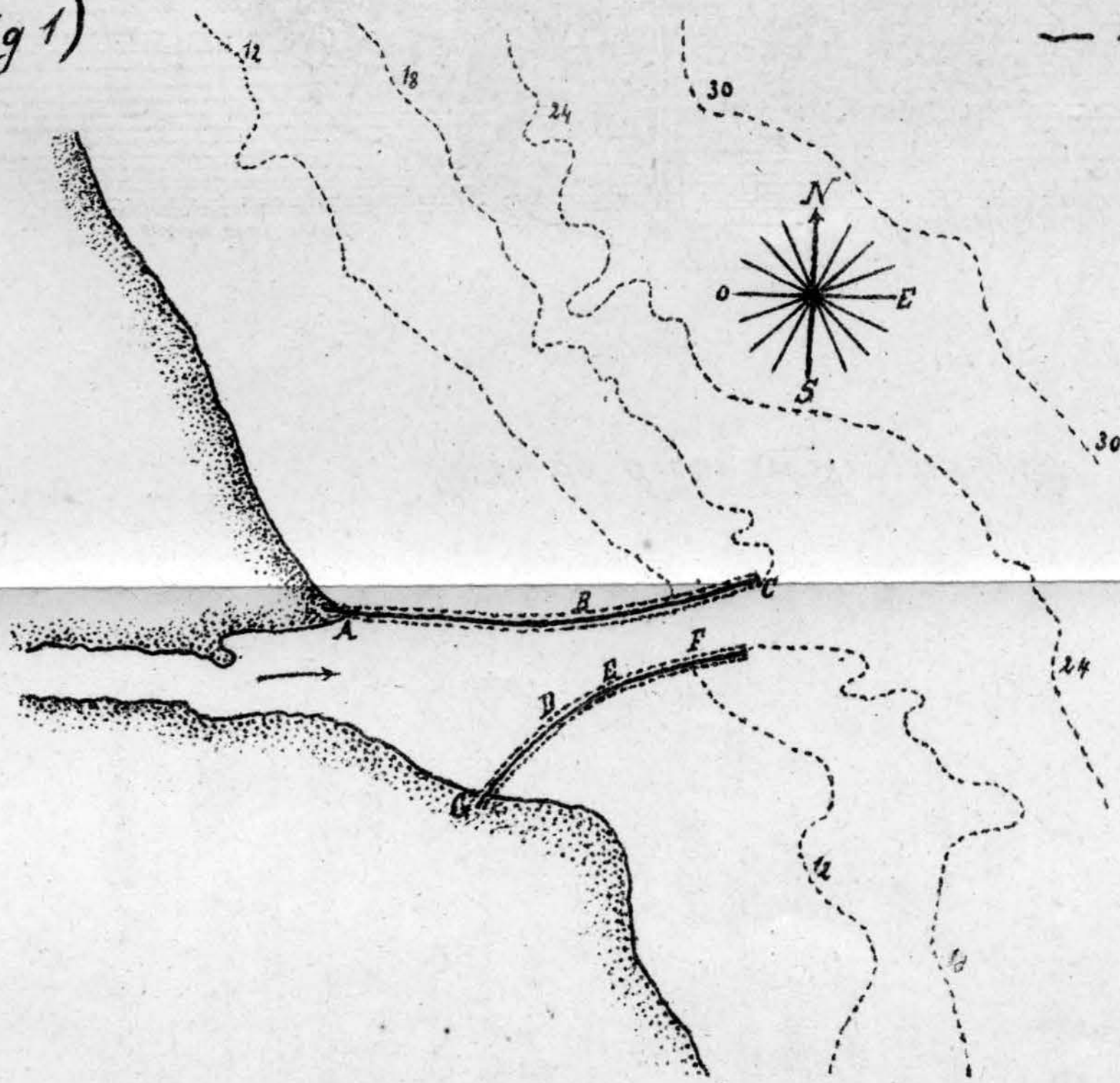


Perfil del dique del N. [fig 2)



Plano de la desembocadura de Sulina.

(fig 1)



— Diques del Danubio. —